

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE QUÍMICA LICENCIATURA

**ANTONIELSON RODRIGUES GOMES**

**APROXIMANDO A UNIVERSIDADE DA ESCOLA POR MEIO DA PESQUISA:** uma  
proposta de abordagem para a fotoeletroquímica na escola

São Luís  
2023

**ANTONIELSON RODRIGUES GOMES**

**APROXIMANDO A UNIVERSIDADE DA ESCOLA POR MEIO DA PESQUISA:** uma proposta de abordagem para a fotoeletroquímica na escola

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Maranhão como parte das exigências para a obtenção do título de Licenciatura em Química.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Santos Damos

São Luís  
2023

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Gomes, Antonielson Rodrigues.

Aproximando a universidade da escola por meio da  
pesquisa : uma proposta de abordagem para a  
fotoeletroquímica na escola / Antonielson Rodrigues Gomes.  
- 2023.

72 f.

Orientador(a): Flávio Santos Damos.

Monografia (Graduação) - Curso de Química, Universidade  
Federal do Maranhão, São Luís, 2023.

1. Célula solar. 2. Escola. 3. Juçara. 4.  
Universidade. I. Damos, Flávio Santos. II. Título.

ANTONIELSON RODRIGUES GOMES

**APROXIMANDO A UNIVERSIDADE DA ESCOLA POR MEIO DA PESQUISA:** uma proposta de abordagem para a fotoeletroquímica na escola

Monografia apresentada ao curso de Química Licenciatura na Universidade Federal do Maranhão como requisito para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Flávio Santos Damos

Aprovado em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Cícero Wellington Brito Bezerra  
Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Hildo Antônio dos Santos Silva  
Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Prof. Dr. Flávio Santos Damos (Orientador)  
Universidade Federal do Maranhão

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me possibilitar viver toda esta caminhada, pelas dificuldades enfrentadas, pelo aprendizado adquirido e por ter me dado forças para continuar durante todo este tempo.

Agradeço aos meus pais Maria Eunice Rodrigues Gomes e Antônio José Gomes por me acompanharem durante esse percurso, por todo apoio que me deram e por cada pequeno gesto de incentivo.

Agradeço a minha namorada, melhor amiga e fiel companheira Duanny Kimberly por me ouvir, suportar e apoiar por todos esses anos.

Agradeço imensamente ao meu orientador, professor Flávio Santos Damos por cada conversa, incentivo, orientação e todo apoio que me foi dado durante os anos que passei no grupo Labs.

Agradeço a professora Rita de Cássia Silva Luz pelo convite que me fez ainda no início do curso para a Iniciação Científica. Tanto a professora Rita quanto o professor Flávio me possibilitaram realizar um grande sonho.

Agradeço a todos os membros e amigos do Laboratório de Sensores, Dispositivos e Métodos Analíticos que tive o prazer de conhecer pelo suporte oferecido e por cada momento compartilhado, em especial, a Sakae Yotsumoto por toda ajuda, a Chirlene Botelho pelo apoio e companhia de viagens, a Greicy Kelly pelas experiências compartilhadas e pelo café, a Bianca Borges pelas histórias e a Ricky Penha pelas trocas de conhecimento.

Agradeço a todos meus companheiros de graduação, em especial Bárbara de Souza, Guilherme Abreu, Jhonatas Aparecido e Layane Leal por cada vivência, história e avaliações enfrentadas.

Agradeço a Jeovana Pacheco, pela grata surpresa que foi sua amizade durante a graduação.

Por fim, agradeço a todos que ajudaram direta ou indiretamente na construção deste trabalho, em especial Almir Guimarães e Lima Junior.

## RESUMO

Neste trabalho é descrito o desenvolvimento de uma célula solar sensibilizada empregando polpa de juçara e sua adaptação para sala de aula. Em busca de uma melhoria na qualidade de ensino, a educação básica vem passando por muitas mudanças. Nesse contexto, profissionais na área da Química há muito tempo tem buscado formas de tornar o processo de ensino e aprendizagem na área mais atrativo, buscando aliar os assuntos discutidos em sala ao cotidiano do aluno. Assim, a Universidade assume um importante papel na formação docente e busca por um aprimoramento da educação básica ao compartilhar o conhecimento que vem sendo desenvolvido nas mais diversas áreas do conhecimento, sendo possível levar as pesquisas que são desenvolvidas até a escola. Desse modo, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma célula solar sensibilizada por polpa de juçara e traz uma proposta de adaptação do sistema para abordar conceitos de Química na escola de forma a aliar os trabalhos desenvolvidos na academia aos assuntos do cotidiano do aluno. Para caracterização do sistema foram realizadas medidas de fotoeletroquímicas utilizando uma lâmpada Led comercial de 36 W e um sistema para controle da incidência de luz. As medidas de fotocorrente apontaram para a necessidade da utilização de uma molécula doadora de elétrons na solução do eletrólito e além disso, demonstraram a capacidade de sensibilização da polpa de juçara frente a um eletrodo sem a sensibilização. As medidas de potencial de circuito aberto (-0,243 V na presença de luz e -0,104 V na ausência de luz) e de espectroscopia de impedância eletroquímica na ausência e na presença de luz corroboram para a viabilidade da polpa de juçara como corante sensibilizante em células solares. Com o sistema adaptado foram realizadas medidas de diferença de potencial avaliando a influência da incidência direta da luz do sol. Foram obtidos os valores de potencial de 44,9 mV sem a incidência da luz do sol direta e 533 mV com a incidência direta da luz do sol. O sistema adaptado e a proposta de sequência didática foram aplicados em uma escola da rede estadual de ensino. Sendo assim, a polpa de juçara se apresentou viável para utilização como corante sensibilizante em células solares e o sistema adaptado e a sequência didática se mostraram como ótimas propostas para abordar conteúdos de química a partir das pesquisas desenvolvidas na Universidade, em especial, na área de fotoeletroquímica.

**Palavras-chave:** Universidade. Escola. Célula solar. Juçara.

## ABSTRACT

This paper describes the development of a sensitized solar cell using juçara pulp and its adaptation for the classroom. In search of an improvement in the quality of teaching, basic education has been undergoing many changes. In this context, professionals in the field of chemistry have long sought ways to make the teaching and learning process in the area more attractive, seeking to combine the subjects discussed in the classroom with the student's daily life. Thus, the University assumes an important role in teacher training and seeks to improve basic education by sharing the knowledge that has been developed in the most diverse areas of knowledge, making it possible to take the research that is developed to the school. Thus, this work presents the development of a solar cell sensitized by juçara pulp and brings a proposal to adapt the system to address chemistry concepts in school in order to combine the work developed in the academy with the subjects of the student's daily life. To characterize the system, photoelectrochemical measurements were performed using a 36 W commercial Led lamp and a system to control the incidence of light. The photocurrent measurements pointed to the need to use an electron donor molecule in the electrolyte solution and, in addition, demonstrated the sensitization capacity of the juçara pulp compared to an electrode without sensitization. The open circuit potential measurements ( $-0.243$  V in the presence of light and  $-0.104$  V in the absence of light) and electrochemical impedance spectroscopy in the absence and presence of light corroborate the viability of juçara pulp as a sensitizing dye in solar cells. With the adapted system, potential difference measurements were performed evaluating the influence of direct sunlight incidence. Potential values of  $44.9$  mV were obtained without the incidence of direct sunlight and  $533$  mV with the direct incidence of sunlight. The adapted system and the proposed didactic sequence were applied in a state school. Thus, the juçara pulp proved to be viable for use as a sensitizing dye in solar cells and the adapted system and the didactic sequence proved to be great proposals to address chemistry content from the research developed at the University, especially in the area of photoelectrochemistry.

**Keywords:** University. School. Solar cell. Juçara

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Imagem dos eletrodos logo após a sensibilização com juçara. p. 39
- Figura 2** Amperogramas da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara. (A) Fotocorrente da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara em PBS e na presença de ácido ascórbico; (B) Comparação das densidades de corrente do eletrodo não sensibilizado e do sensibilizado com juçara; (C) Comparativo entre FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara e FTO/TiO<sub>2</sub> na ausência de ácido ascórbico. p. 40
- Figura 3** Gráfico de Nyquist para a plataforma em solução de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup> em PBS 0,1 mol L<sup>-1</sup> obtidos na presença e ausência de luz. p. 41
- Figura 4** Curvas de corrente *versus* potencial e potência *versus* corrente obtidas para a célula solar sensibilizada na presença e ausência de luz. (A) Os valores encontrados de OCP para o sistema. (B) Potência máxima do sistema. p. 42
- Figura 5** Eletrodos de ITO modificados com TiO<sub>2</sub>. p. 43
- Figura 6** Contra-eletrodos e célula solar montada. p. 44
- Figura 7** Variação da tensão observada da célula solar com e sem a incidência da luz do Sol. p. 45
- Figura 8** Execução dos experimentos pelos alunos. p. 50



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Ilustração 1</b>	Esquema de funcionamento de uma célula solar em um painel solar.	p. 27
<b>Ilustração 2</b>	Representação do processo fotoeletroquímico.	p. 29
<b>Ilustração 3</b>	Representação da estrutura mais comum das antocianinas.	p. 31
<b>Ilustração 4</b>	Mecanismo de funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corantes.	p. 32
<b>Ilustração 5</b>	Procedimento de construção da plataforma FTO/TiO <sub>2</sub> /Juçara.	p. 35
<b>Ilustração 6</b>	Montagem da célula solar.	p. 36
<b>Ilustração 7</b>	Esquema do sistema utilizado na realização das medidas fotoeletroquímicas.	p. 37
<b>Ilustração 8</b>	Medidas realizadas com um multímetro para o sistema adaptado.	p. 38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Principais fontes de energia renováveis do Brasil.	p. 24
<b>Tabela 2</b>	Gerações das células solares.	p. 27
<b>Tabela 3</b>	Massas e volumes utilizados para a confecção dos filmes de TiO <sub>2</sub> .	p. 43
<b>Tabela 4</b>	Proposta estrutural da sequência didática.	p. 46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>BC</b>	Banda de condução
<b>BV</b>	Banda de Valência
<b>CIGs</b>	Seleneto de Cobre Índio e Gálio
<b>EIE</b>	Espectroscopia de Impedância Eletroquímica
<b>FTO</b>	Óxido de Estanho dopado com Flúor ( <i>Fluorine doped Thin Oxide</i> )
<b>I/I<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Mediador redox Iodeto/Triiodeto (ou par redox)
<b>IF's</b>	Itinerários Formativos
<b>ITO</b>	Óxido de Estanho dopado com Índio ( <i>Iodine doped Thin Oxide</i> )
<b>LDB</b>	Lei de Diretrizes e Bases
<b>LED</b>	Diodo Emissor de Luz ( <i>Light Emitting Diode</i> )
<b>OCP</b>	Potencial de Circuito Aberto ( <i>Open Circuit Potential</i> )
<b>PBS</b>	Tampão Fosfato Monobásico ( <i>Phosphate Buffer Solution</i> )
<b>UV-vis</b>	Ultravioleta – Visível
<b>eV</b>	EletroVolts

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>O ensino de química na educação básica brasileira .....</b>	<b>17</b>
3.1.1	A educação brasileira: breve contexto.....	17
3.1.2	Ciências da Natureza e suas tecnologias: o ensino de Química .....	19
<b>3.2</b>	<b>Ensino, pesquisa e extensão: o papel da universidade e a pesquisa .....</b>	<b>21</b>
<b>3.3</b>	<b>As células solares sensibilizadas por corantes naturais .....</b>	<b>24</b>
3.3.1	Fontes de energia.....	24
3.3.2	As células solares .....	25
3.3.3	Células solares sensibilizadas por corantes .....	28
3.3.4	Células solares sensibilizadas por corantes naturais .....	30
3.3.5	A juçara como sensibilizante em células solares.....	32
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Tipo de pesquisa .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Parte experimental .....</b>	<b>34</b>
4.2.1	Materiais e reagentes .....	34
4.2.2	Construção da plataforma FTO/TiO <sub>2</sub> /Juçara (fotoanodo).....	35
4.2.3	Montagem da célula solar.....	36
4.2.4	Avaliação da fotocorrente da Plataforma FTO/TiO <sub>2</sub> /Juçara .....	36
4.2.5	Caracterização por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE).....	37
4.2.6	Avaliação do potencial de circuito aberto (OCP).....	37
4.2.7	Adaptação do sistema para escola .....	38
4.2.8	Aplicação do sistema na escola: sequência didática .....	39
4.2.9	Aplicação do sistema na escola: relato de experiência.....	39
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Construção da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara .....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Avaliação da fotocorrente da plataforma .....</b>	<b>40</b>
<b>5.3</b>	<b>Caracterização por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE) .....</b>	<b>42</b>
<b>5.4</b>	<b>Avaliação do potencial de circuito aberto (OCP) e potência do sistema .....</b>	<b>42</b>
<b>5.5</b>	<b>Adaptação do sistema para escola .....</b>	<b>43</b>

<b>5.6</b>	<b>Uma proposta de sequência didática .....</b>	<b>46</b>
5.6.1	Analisando a sequência didática.....	49
5.6.2	Relato de experiência .....	50
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A Universidade é uma instituição com grande potencial social que tem um importante papel na produção e disseminação do conhecimento. Suas ações se baseiam no tripé ensino, pesquisa e extensão e através desta relação indissociável, forma tanto profissionais capacitados nas mais diversas áreas do conhecimento como também contribui para a formação de sujeitos capazes de promover uma transformação na sociedade podendo resultar em benefícios (SEVERINO, 2013). Esta relação indissociável deve estar pautada, sobretudo, na pesquisa visto que é através dela que o indivíduo é capaz de conhecer e conhecendo, é capaz de ensinar e aprender podendo levar aquilo que se aprendeu a outros indivíduos (SEVERINO, 2013). Desse modo, no que tange à educação básica brasileira, a Universidade vai possuir um importante papel na busca por uma melhoria na qualidade de ensino tendo em vista que esta é uma de suas finalidades definidas pelo Art. 43 da Lei de Diretrizes e Bases (LDB).

A educação básica brasileira vem passando por diversas mudanças em busca de uma melhor qualidade no ensino. A mais comentada e discutida atualmente é a alteração na Lei de Diretrizes e Bases (LDB) que ocorreu em 2018. Esta alteração teve como foco a estrutura do ensino médio estabelecendo algumas mudanças, dentre as quais, as principais são: o aumento da carga horária mínima, mudança na obrigatoriedade das matérias, criação de um currículo mais flexível e a implementação do projeto de vida (BRASIL, 2018c). Estas mudanças têm por objetivo melhorar o desenvolvimento pessoal e profissional dos estudantes (BRASIL, 2018a). Dentro deste contexto, o ensino de Química passou a compor uma das chamadas áreas do conhecimento que objetiva tratar o ensino de Química aliado às disciplinas de Física e Biologia. Esta nova perspectiva de ensino busca trazer os conteúdos para o dia a dia dos estudantes, numa abordagem que visa aliar os conceitos ao cotidiano do aluno. Este tipo de abordagem já vinha há muito tempo sendo instigada e incentivada por muitos pesquisadores na área visto que se apresentam como ótimas propostas para o ensino, em especial, o ensino de Química (ARENARE et al., 2019; GAMA et al., 2021; LIMA et al., 2022; NASCIMENTO et al., 2022). Além disso, aliar as situações do cotidiano aos assuntos das aulas teóricas e práticas possibilita aos estudantes enxergar uma real necessidade para estudar e aprender estes conceitos.

Numa perspectiva atual, com o aumento gradativo do consumo de energia, a utilização de fontes de energia alternativas e renováveis, como as células fotovoltaicas, têm sido bastante discutidos e podem ser incorporados nos debates em sala de aula. Em temas como este podem ser trabalhados diversos assuntos tanto no campo da Física, Biologia, bem como da Química. Nesse contexto, as células solares sensibilizadas por corantes naturais, que fazem parte de um

conjunto de gerações de células solares, são uma ótima alternativa para abordar conceitos de Química teórica e experimental no ensino médio visto que são de fácil construção e possuem um baixo custo.

Desse modo, este trabalho visou unir as pesquisas desenvolvidas dentro da Universidade, sobretudo na área de fotoeletroquímica, de forma a contribuir para a melhoria do ensino na educação básica explorando uma alternativa de abordagem em um tema atual. Assim, o trabalho busca responder a seguinte problemática: *“Como o desenvolvimento de uma célula solar sensibilizada por polpa de juçara pode auxiliar alunos do ensino médio na compreensão de conceitos de química?”* A polpa de juçara além de possuir características viáveis para aplicação em células solares, é um produto bastante comercializado e apreciado no Maranhão, permitindo unir aspectos regionais da cultura local aos conhecimentos de Química que podem ser adquiridos. Assim, além de estudar a viabilidade da polpa de juçara na construção de uma célula solar sensibilizada por juçara este trabalho pretende propor uma sequência didática possibilitando sua aplicação em sala de aula, objetivando buscar a contribuição que as atividades de pesquisa desenvolvidas dentro da Universidade, em especial na área de fotoeletroquímica, têm na compreensão e aprendizagem de conceitos de química por alunos do ensino médio. Dito isso, esta pesquisa pode contribuir para o fortalecimento do processo de ensino e aprendizagem na educação básica, além de promover a divulgação científica, o conhecimento tecnológico e despertar possível interesse pela pesquisa em química, estreitando a relação entre a Universidade e a Escola.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Conhecer como a elaboração de uma célula solar sensibilizada por polpa de juçara desenvolvida dentro da Universidade explorando materiais de baixo custo pode auxiliar estudantes do ensino médio na compreensão de conceitos de química.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Conhecer o contexto do ensino de Química e a importância da pesquisa para a Universidade;
- Descrever o desenvolvimento de célula solar sensibilizada por corante natural utilizando como agente sensibilizante a polpa de juçara;
- Propor uma adaptação do sistema desenvolvido na forma de sequência didática para alunos do ensino médio.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentado, inicialmente, um contexto da educação básica brasileira e do ensino de Química, em seguida será discutido o papel da Universidade e por fim, serão apresentados os conceitos que circundam as células solares.

#### 3.1 O ensino de química na educação básica brasileira

A disciplina de Química tem como objetivo fornecer aos estudantes conhecimentos sobre a matéria, suas propriedades, transformações e interações, além de promover o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e investigativo. No entanto, são enfrentados alguns desafios como: a falta de recursos laboratoriais nas escolas, a falta de formação adequada dos professores, a defasagem dos materiais didáticos e a necessidade de estabelecer conexões entre a teoria e a prática. Na literatura existem diversas pesquisas voltadas para melhorar o ensino da Química, buscando aliar a vivências dos alunos com o conteúdo apresentado.

##### 3.1.1 A educação brasileira: breve contexto

Atualmente a Educação Escolar Brasileira é composta por educação básica – formada pela educação infantil, o ensino fundamental e o ensino médio – e pela educação superior. Segundo a Lei nº 9.394 de 1996 a educação básica tem por finalidade “*desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores*” (BRASIL, 2022, p. 18). Já a educação superior, tem por finalidades estimular a criação cultural, desenvolver o pensamento reflexivo, formar profissionais qualificados, incentivar a pesquisa científica, promover a divulgação do conhecimento, suscitar o desejo de aperfeiçoamento, conhecer e solucionar problemas locais, prestar serviços à comunidade, promover a extensão universitária e contribuir para a universalização e aprimoramento da educação básica (BRASIL, 2022). O ensino superior proporciona ao indivíduo a oportunidade de aprofundar-se em uma ou mais áreas do conhecimento e estimula o desenvolvimento de habilidades críticas, de análise e pesquisa, preparando o indivíduo para enfrentar os desafios da sociedade como um todo.

Estas etapas vêm passando por diversas transformações, em especial, o ensino médio com as alterações realizadas na LDB em 2018. De forma simplificada as mudanças trazem um aumento da carga horária mínima anual (de 800 para 1000 horas), mudança na obrigatoriedade das matérias (Matemática, Português e Inglês obrigatórias), criação de um currículo mais

flexível (criação dos itinerários formativos) e a implementação do projeto de vida (apoio pedagógico aos estudantes). Estas mudanças foram implementadas gradualmente e passaram a valer oficialmente em 2022, porém, teve seu calendário de implementação suspenso por 60 dias através da Portaria nº 627, de 4 de abril de 2023 para uma avaliação e reestruturação da política nacional de Ensino Médio. Mesmo com a suspensão, as escolas deverão manter normalmente as alterações já realizadas até a data anterior à Portaria.

Estruturalmente, o currículo do ensino médio vem dividido em Itinerários Formativos (IF's) e Base Comum. Os IF's são definidos como um

[...] conjunto de unidades curriculares ofertadas pelas instituições e redes de ensino que possibilitam ao estudante aprofundar seus conhecimentos e se preparar para o prosseguimento de estudos ou para o mundo do trabalho de forma a contribuir para a construção de soluções de problemas específicos da sociedade (BRASIL, 2018a, p. 2).

Nesse sentido, cabe às instituições ou redes de ensino organizar estes itinerários de acordo com o contexto em que estão inseridas levando em consideração os interesses dos professores e estudantes. Já a Base Comum é o conjunto de aprendizagens essenciais que os estudantes devem desenvolver durante toda a educação básica e é tido como a formação geral básica e é dividida em quatro grandes áreas do conhecimento sendo elas:

- a) Linguagens e suas tecnologias: que engloba disciplinas como língua portuguesa, literatura, língua estrangeira, artes, educação física e tecnologias da informação e comunicação;
- b) Matemática e suas tecnologias: que abrange as disciplinas de matemática e suas aplicações em diversas áreas, como ciências naturais, sociais e tecnológicas;
- c) Ciências humanas e sociais aplicadas: que inclui disciplinas como história, geografia, filosofia, sociologia e antropologia, entre outras;
- d) Ciências da natureza e suas tecnologias: que envolve disciplinas como física, química, biologia e suas aplicações tecnológicas.

A forma de organização por meio das grandes áreas do conhecimento *“implica o fortalecimento das relações entre os saberes e a sua contextualização para apreensão e intervenção na realidade, requerendo planejamento e execução conjugados e cooperativos dos seus professores”* (BRASIL, 2018a), permitindo que os saberes sejam trabalhados de forma contextualizada e interdisciplinar e não mais isoladamente na forma de disciplinas. Em tese, uma educação mais interdisciplinar, que promova a contextualização dos conteúdos e a conexão entre as diferentes áreas do conhecimento, permite aos estudantes compreender a realidade de forma mais ampla e crítica.

### 3.1.2 Ciências da Natureza e suas tecnologias: o ensino de Química

A Química como parte da grande área do conhecimento de Ciências da natureza e suas tecnologias tem como competências específicas:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global.

Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.

Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprias das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2018b, p. 553)

Em outras palavras, os estudantes devem desenvolver habilidades de análise, interpretação, investigação e comunicação dentro da Química e no campo das Ciências da Natureza, livre da forma baseada na memorização de fórmulas e distante da realidade, de forma a compreender os fenômenos naturais, os processos tecnológicos e suas implicações no mundo em diferentes contextos. Para Arenare (2019) a educação química deve priorizar o “*processo ensino-aprendizagem de forma contextualizada, ligando o ensino aos acontecimentos do cotidiano do aluno, para que estes possam perceber a importância socioeconômica da Química, numa sociedade avançada, no sentido tecnológico*”.

Entretanto, sabe-se que o ensino de Química na educação básica brasileira apresenta grandes problemas. Muitos alunos “*consideram os conteúdos de Química difíceis, teóricos e abstratos, causando certa aversão e dificultando o processo de ensino e de aprendizagem*” (YAMAGUCHI e SILVA, 2022, p. 231) além disso, “*a maneira com que essa ciência vem sendo ensinada é de certa forma desestimulante para aquele que está aprendendo [...]*” (LIMA et al., 2022, p. 2) em que muitas das vezes o professor adota metodologias em que ele deve ser “*o único a falar e [que] o aluno apenas escute*” (GAMA et al., 2021, p. 903). Outro grande problema está relacionado à formação docente. Sousa (et al., 2022) afirma que para que haja uma melhor qualidade no ensino, o professor precisa estar em constante atualização através de uma formação contínua e que passam por uma série de exigências como

[...] conhecer o conteúdo a ser ensinado e dominar métodos e técnicas de ensino; entender as necessidades reais dos alunos; abordar os problemas sociais que afetam o cidadão e sua qualidade de vida assim como os impactos ambientais que causa; contextualizar o ensino dos conteúdos; desenvolver o pensamento crítico; preparar e aplicar uma aula experimental de valor educativo real, propiciando o momento de discussão teórico-prática, transcendendo o fenômeno e os saberes cotidianos dos alunos; considerar que a diversificação de métodos de ensino é

indispensável para que haja um melhor aproveitamento no processo de aprendizagem; saber relacionado à história ao modo de construção dos conhecimentos inerentes esta ciência; saber que suas concepções de ciência influenciam sua prática ao abordar os conteúdos e o próprio currículo; e preparar o uso de analogias nas aulas de modo a auxiliar na formação das representações dos fenômenos e das inferências. (SOUSA et al., 2022, p. 4)

Para Arenare (2019) o professor de Química não deve ser limitado ao conteúdo pelo conteúdo, mas deve voltar-se a compreender as diversas transformações que estão inseridas no cotidiano e que vão além do conhecimento científico e perpassam outros saberes, sem limitar-se à memorização sendo esta, superada através de competências durante o processo de formação do professor. Os problemas no ensino de Química não se limitam apenas aos professores: muitas escolas não possuem uma estrutura adequada que favoreça o ensino de Química de forma a abranger teoria e prática. Nesse sentido, diversos autores apontam para a importância da relação entre teoria e prática no ensino de Química. Para Ávila e Matos (2017, p. 255):

A experimentação é um dos principais alicerces que sustentam a complexa rede conceitual que estrutura o processo de ensino e aprendizagem de Química. Ele não é o único, uma vez que se encontra entrelaçado com outros, como o construído pela história da Química e o construído pelo conceito sociocultural de que o aluno faz parte.

Na visão dos autores, a experimentação pode contribuir para que o aluno se interesse pelo assunto estudado, relacionando a teoria e a prática, sendo possível tornar a aprendizagem mais significativa. Para Rodrigues (et al., 2022, p. 4) “*o processo experimental surge como um elemento integrador para a prática pedagógica [...] tal recurso é considerado essencial no processo de ensino e aprendizagem, pois [...] é possível perceber que há um vínculo entre todo o conhecimento envolvendo o sujeito e o objeto*”. Na visão destes autores, a experimentação deve possibilitar não somente que o aluno relacione a teoria à prática, mas “*deve oferecer condições de participação do discente, no sentido de favorecer a aprendizagem*” (et al., 2022, p. 4). Nascimento (et al., 2022) defendem a ideia de que “*a experimentação no ensino de Química pode ser entendida como uma atividade que permite a articulação entre fenômenos e teorias (p. 124)*”, em outras palavras, a experimentação é capaz de relacionar a teoria e a prática porém, na visão dos autores, esta relação entre teoria e prática não deve estar limitada a simples comprovação da teoria com a prática, mas sim na busca de novas metodologias capazes de levar o aluno a refletir e se tornar um sujeito ativo no processo de aprendizagem. Os autores defendem, também, que a experimentação deve estar associada a vivência do próprio cotidiano do aluno de forma a facilitar o processo de aprendizagem. Dito isso, além de permitir relacionar a teoria à prática, a experimentação é capaz de levar o conhecimento científico à escola, iniciar os alunos no método científico levando-os a compreender que o conhecimento adquirido passa por etapas e se diferencia daquele conhecimento baseado em suposições e “achismos”. Nesse

contexto, a Universidade pode vir a ser um importante aliado da educação básica tendo em vista que além de formar profissionais capacitados para atuar na educação, uma das missões do ensino superior está relacionada a “*difundir o conhecimento acumulado através do ensino, além de produzir novos conhecimentos*” (SILVA, et al., 2020).

### **3.2 Ensino, pesquisa e extensão: o papel da universidade e a pesquisa**

A Universidade desempenha diversos papéis na sociedade contemporânea e é considerada um referencial no que tange a excelência acadêmica, pesquisa científica, inovação e disseminação do conhecimento. Para Chauí (2003, p. 5) “*a universidade é uma instituição social e como tal exprime de maneira determinada a estrutura e o modo de funcionamento da sociedade como um todo*”. Em outras palavras, ela é um agente de transformação e reprodução que possui autonomia administrativa e didático-científica. Sua importância vai além da sala de aula, alcançando os limites do campus e se estendendo para a comunidade e para o país como um todo. Gonçalves (2015, p. 1232) destaca que:

Historicamente, a instituição Universidade constituiu-se como lugar de produção do conhecimento, posteriormente agregando a função de formação de profissionais, com caminhos e tempos distintos, conforme o país, mas que traz como marca inerente o reconhecimento de um dado tipo de conhecimento, o científico, e uma autonomia aut centrada que lhe permite(ia) estabelecer o que merece(ia) ser pesquisado e o tipo de diálogo ou monólogo em relação à sociedade, ou com quais setores ele é estabelecido.

Além disso, para Severino (2013), a Universidade é uma instituição de ensino superior e, como tal, visa três objetivos principais: formação de profissionais, formação de cientistas e a formação do cidadão. Com base nesses objetivos, ela busca formar indivíduos para atuar na sociedade por meio do tripé: ensino, pesquisa e extensão. Segundo o Art. 207 da Constituição Federal “*as universidades gozam de autonomia didático-científica, administrativa e de gestão financeira e patrimonial, e obedecerão ao princípio de indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão*” (BRASIL, 1988). Essa relação de indissociabilidade entre o ensino, a pesquisa e a extensão são intrínsecas à Universidade e não devem ser tratadas de forma isolada visto que não há Universidade sem esse tripé. De acordo com Moita e Andrade (2009, p. 269), se estes princípios forem articulados de forma dual, ou seja, buscando relacionar apenas dois destes por vez, estas relações teriam as seguintes características:

[...] a articulação entre o ensino e a extensão aponta para uma formação que se preocupa com os problemas da sociedade contemporânea, mas carece da pesquisa, responsável pela produção do conhecimento científico. Por sua vez, se associados o ensino e a pesquisa, ganha-se terreno em frentes como a tecnologia, por exemplo, mas se incorre no risco de perder a compreensão ético-político-social conferida quando se pensa no destinatário final desse saber científico (a sociedade). Enfim, quando a (com

frequência esquecida) articulação entre extensão e pesquisa exclui o ensino, perde-se a dimensão formativa que dá sentido à universidade.

Em outras palavras, a Universidade se encontraria incompleta e não assumiria o seu papel de agente transformador na sociedade. Nesse contexto, o ensino pode ser entendido como a “[...] *apropriação, pelos estudantes, do conhecimento historicamente produzido pela humanidade [...]*” (MAZZILLI, 1995, p. 150 apud SCHENDER, 2011, p. 49). Assim como revela Severino (2002), a Universidade é muitas vezes apresentada apenas como um lugar de transmissão de conhecimentos, porém ela não deve ser limitada a isso pois além de transmitir o conhecimento ela o produz. Desse modo, o ensino universitário precisa estar vinculado à pesquisa, pois só se gera conhecimento através de uma profunda busca que se realiza através da pesquisa e desta forma o indivíduo é capaz de conhecer e se conhece, aprende. Wanderley (2017, p. 32-33) corrobora ao afirmar que:

Os corpos universitários foram se dando conta, então, que se tornava imperiosa a integração dessas finalidades, ensino enriquecido pela pesquisa, que lhe municiava novos temas, proposições, métodos etc.; pesquisa que trazia do ensino problemas, hipóteses, interpretações etc. Assim, as universidades de todo o mundo foram buscando articular o ensino com a pesquisa, e sem sombra de dúvidas, naqueles países onde recursos substanciais foram concedidos à pesquisa, houve um crescimento seguro e o aprendizado científico avançou. Naqueles onde há carência de pesquisa ou ela é restrita, tende-se a copiar o que se produziu fora, tende-se a permanecer atrelado ao repetitivo, ao comodismo, à não renovação.

Já a pesquisa, pode ser entendida como “[...] *a produção de novos conhecimentos [...]*” (MAZZILLI, 1995, p. 150 apud SCHENDER, 2011, p. 49). Ela é o instrumento que dá origem à ciência, e a ciência é aquela que se origina do desejo humano em conhecer e aprender mais sobre o universo que o cerca (MATHEUS, 2011). A pesquisa assume um importante papel dentro da Universidade. É por meio dela que o conhecimento pode ser formado e moldado tornando o indivíduo um ser crítico e racional capaz também de moldar e transformar o mundo à sua volta. A prática da pesquisa dentro da Universidade faz com que professores e estudantes não sejam meros reprodutores de conhecimento, mas que através de uma postura investigativa possam contribuir de fato para a construção deste. Além disso, a pesquisa universitária permite que o conhecimento seja acumulado e repassado na forma de extensão. Historicamente a extensão nasceu como uma forma de estender o conhecimento construído dentro da Universidade para a sociedade.

Mazzilli (1995, p. 150 apud SCHENDER, 2011, p. 49) define a extensão como “[...] *intervenção nos processos sociais e identificação de problemas da prática que demandam novas pesquisas [...]*”. Para Severino (2013, p. 20) a extensão universitária “*deve ser entendida como o processo que articula o ensino e a pesquisa, enquanto interagem conjuntamente, criando um vínculo fecundante entre a Universidade e a sociedade, no sentido de levar a esta*

*a contribuição do conhecimento para a sua transformação*”. Como citado anteriormente, a LDB estabelece a extensão como uma das finalidades da educação superior e que deve “*estar aberta à participação da população, visando à difusão das conquistas e benefícios resultantes da criação cultural e da pesquisa científica e tecnológica geradas na instituição*” (BRASIL, 2022, p. 18). Essa finalidade por vezes pode estar relacionada “*apenas aos cursos de curta duração ofertados pela universidade*” (SILVA, 2020, p. 22), mas ela vai além. Silva (2020, p. 25) destaca que “*a universidade pode vir a ser uma propulsora de transformação social, uma vez que possui a capacidade, por meio de suas atividades, de impulsionar melhorias na qualidade de vida da sociedade*”. Desse modo, a extensão universitária se caracteriza como o modo em que a Universidade é capaz de interagir com a sociedade que a envolve.

Em suma, a educação e todo o processo de ensino e aprendizagem que acontece dentro da Universidade devem ter por base a pesquisa visto que se caracteriza como produção de conhecimento e tanto o ensino como a extensão devem tê-la como sustentação. Desse modo,

[...] só se aprende, só se ensina pesquisando; só se presta serviços à comunidade, se tais serviços nascerem e se nutrirem da pesquisa. [...] O professor precisa da prática da pesquisa para ensinar eficazmente; o aluno precisa dela para aprender eficaz e significativamente; a comunidade precisa da pesquisa para poder dispor de produtos do conhecimento; e a Universidade precisa da pesquisa para ser mediadora da educação. (SEVERINO, 2013, p. 20-21).

Moita e Andrade (2009) também ressaltam a importância da pesquisa na Universidade. Na visão dos autores, quando o professor universitário alia o ensino à pesquisa e a extensão, além de se manter atualizado e conectado com as mudanças que o conhecimento científico traz, o professor passa a ser capaz de formar novos pesquisadores (as) com pensamento crítico e comprometidos com a intervenção social. Desse modo, o papel da Universidade dentro da sociedade está relacionado intimamente com a pesquisa. É através da pesquisa que a Universidade pode construir o conhecimento e através desse conhecimento, intervir na sociedade como um todo e sobretudo, na educação básica buscando um aprimoramento do ensino.

Tauchen e Deveschi (2016, p. 527) destacam que a interação entre o ensino superior e a educação básica se apresenta como uma “*ação fundamental tanto pelas políticas públicas quanto pelos setores da sociedade, pois vincula-se aos processos de democratização, acesso, permanência e qualidade do ensino*”. Como citado anteriormente o ensino superior tem como uma de suas finalidades “*atuar em favor da universalização e do aprimoramento da educação básica, mediante a formação e a capacitação de profissionais, a realização de pesquisas pedagógicas e o desenvolvimento de atividades de extensão que aproximem os dois níveis escolares*” (BRASIL, 2022, p. 33). Nesse sentido, além da formação de professores por meio

dos cursos de licenciatura, a Universidade apresenta um papel de desenvolver ações que tenham como objetivo melhorar a educação básica de forma geral.

### 3.3 As células solares sensibilizadas por corantes naturais

Neste tópico será abordado um contexto geral sobre as principais fontes de energia no Brasil, as células solares convencionais bem como as células solares sensibilizadas por corantes sintéticos e naturais.

#### 3.3.1 Fontes de energia

O aumento gradativo do consumo de energia tem levado a uma crescente preocupação ambiental e por conta disso, muitos países têm buscado formas sustentáveis de produção de energia a fim de reduzir os impactos indesejáveis que as fontes de energia vêm causando ao meio ambiente. Por desenvolvimento sustentável entende-se que é *“aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”* (PEREIRA et al., 2017, p. 11). Nesse contexto, as formas de energia conhecidas podem ser classificadas em renováveis e não renováveis.

As fontes de energia renováveis são aquelas que utilizam recursos que se regeneram na natureza, como a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e entre outras. Em contrapartida, as fontes de energia não-renováveis são as que utilizam recursos que se esgotam na natureza, como o uso de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e petróleo), é importante enfatizar que o uso intenso destas geram grandes impactos para o meio ambiente. (ARAÚJO et al., 2022, p. 2).

As fontes de energia renováveis são apontadas como alternativas viáveis no sentido de promover um crescimento econômico de forma sustentável. Segundo Pereira et al. (2017) para que este desenvolvimento seja possível é necessário a inovação em formas de aproveitar e converter recursos naturais em recursos energéticos de forma a possibilitar uma evolução com o mínimo de impactos ambientais. Na Tabela 1 são apresentadas informações sobre algumas das fontes de energia renováveis encontradas no Brasil.

**Tabela 1** - Principais fontes de energia renováveis do Brasil.

MATRIZ ENERGÉTICA	COMO FUNCIONA?	IMPACTOS CAUSADOS
Hidroelétrica	“[...] é a água, que geralmente é armazenada em rios limitados por uma barragem. Na parte inferior da barragem existe uma tomada d’água, e o fluxo de água aciona uma turbina que, por sua vez, aciona um gerador elétrico.”	“[...] demandam grandes áreas para sua construção. Ainda, hidrelétricas de reservatório geralmente causam grandes impactos devido à mudança no curso dos rios, biodiversidade e emissões de GEE’s [gases de efeito estufa] principalmente de metano, [...]”



<b>Eólica</b>	“[...] é gerada a partir do fluxo de ar, capaz de acionar as pás de uma turbina que, por sua vez, produzem energia mecânica, e esta é convertida em energia elétrica.”	“Os principais impactos ambientais estão relacionados à biodiversidade, barulho e alteração das paisagens onde são instaladas.”
<b>Biomassa</b>	“A geração de energia através da biomassa é geralmente utilizada em aplicações diretas para a produção de calor por combustão e processo indireto como biocombustível.”	“Os impactos ambientais, por sua vez, estão ligados a fatores com alta variação de mudanças climáticas e índices de acidificação, eutrofização e consumo de energia em sua produção.”
<b>Solar</b>	“[...] é possível através da radiação solar obter energia indireta, mediante a aplicação de coletores ou concentradores solares, ou energia direta, por meio de energia solar fotovoltaica [...]”	“No que se refere aos impactos ambientais ocasionados por usinas fotovoltaicas, estes se mostram significativos em sua fase de construção dependendo da localidade e da dimensão desta planta.”

Fonte: Adaptado de Mariano e Urbanetz Junior (2022).

No Brasil, segundo dados da Aneel (2023), até maio de 2023 aproximadamente 84% da energia produzida veio de fontes renováveis em que a maior parte advém de usinas hidroelétricas (56,87%), seguidas das usinas eólicas (13,31%), de biomassa (8,58%) e de origem solares (4,84%).

Entretanto, todas as fontes de energia renováveis estão sujeitas às condições climáticas e em especial, as hidrelétricas, apresentadas como uma das principais fontes de geração de energia elétrica do Brasil. Em períodos de seca o nível dos reservatórios cai drasticamente o que pode causar impactos em setores como agricultura ou no próprio abastecimento de água além disso, pode acarretar no aumento do custo de produção de energia e conseqüentemente, no aumento da conta de luz (PEREIRA et al., 2017). Por conta disso, a energia solar se apresenta como um importante aliado na expansão da matriz elétrica não só no Brasil, como no mundo.

### 3.3.2 As células solares

O Sol é uma estrela cuja energia irradiada é resultado de reações de fusão nuclear de átomos de hidrogênio e hélio. *“A taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de  $3,86 \cdot 10^{26}$  W. A temperatura efetiva na superfície do Sol é da ordem de 5778 K (5505° C)”* (PEREIRA et al., 2017, p. 15). A energia irradiada pelo Sol cobre uma ampla faixa do espectro eletromagnético que pode ser dividida em três partes: ultravioleta, com menor comprimento de onda e maior frequência numa faixa de aproximadamente 100 a 400 nm; infravermelho, que apresenta menor frequência e maior comprimento de onda numa faixa de aproximadamente 700 nm a 1 mm; e a região do visível, está presente na região do ultravioleta com comprimento de onda e frequência que intermedia ambas as regiões ultravioleta e infravermelho em uma faixa de

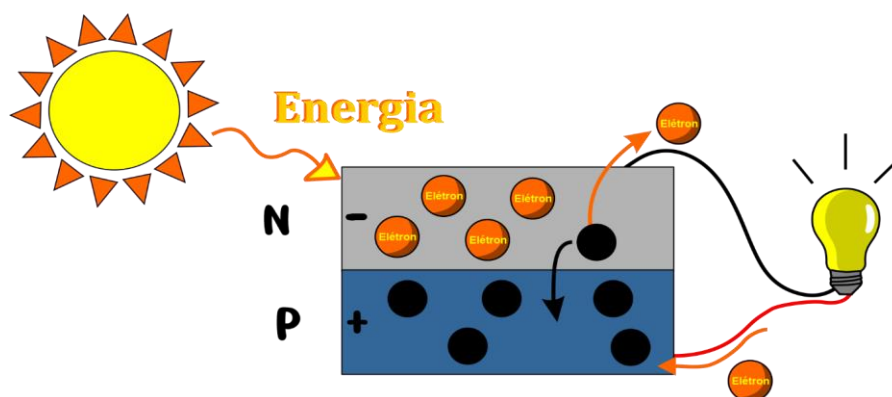
aproximadamente 400 a 700 nm. Deste modo, cada faixa do espectro eletromagnético que corresponde a radiação solar pode ser utilizada para diferentes aplicações “[...] sendo que a tecnologia solar fotovoltaica é diferente da tecnologia solar térmica, que utiliza o calor (radiação infravermelha) para aquecimento. Assim, a conversão direta da energia da luz ocorre através do espectro visível em energia elétrica” (MARIANO e JUNIOR, 2022, p. 13).

A partir da descoberta do efeito fotovoltaico pelo físico francês Alexandre-Edmond Becquerel em 1839, foi possível desenvolver a tecnologia para a construção de painéis solares. Este efeito tem por base a geração de energia elétrica através da interação da luz com alguns materiais. Segundo Lima et al. (2020, p. 1):

Os primeiros painéis solares foram desenvolvidos por Charles Fritts nos anos 1880 e instalados em um telhado na cidade de Nova Iorque, mas somente a partir dos anos 1940, através da patente e dos trabalhos de Russel Ohl, os painéis solares utilizando junções p-n de silício tornaram-se viáveis para aplicações práticas. Eficiências de conversão maiores que 5% foram conseguidas a partir da década de 1950, o que foi um salto fundamental para a viabilização das comunicações via satélite.

O funcionamento destas células é descrito no trabalho de Kant e Singh (2022). Segundo os autores, nestas células são utilizadas duas placas de um material semicondutor como o silício: na primeira placa é adicionado um dopante do tipo n, capaz de aumentar a quantidade de elétrons disponíveis na banda de condução (excesso de cargas negativas). Na segunda placa é adicionado um dopante do tipo p, capaz de aumentar a quantidade de lacunas (excesso de cargas positivas). As duas placas são dispostas uma com a outra formando a chamada Junção P-N. Quando os fótons provenientes da luz do sol entram em contato com o sistema, os elétrons do semicondutor passam para o estado excitado permitindo que estes possam se “locomover” pelo material deixando um buraco ou lacuna na banda de valência, formando o par elétron/lacuna. Este par é capaz de gerar um campo elétrico internamente e por conta disso os elétrons e lacunas são repelidos. Desse modo, os elétrons passam a se “locomover” na direção do polo negativo e as lacunas, para o polo positivo. Os polos são conectados por um fio condutor que permite a movimentação dos elétrons para um circuito externo, gerando corrente elétrica como apresentado na Ilustração 1.

**Ilustração 1** – Esquema de funcionamento de uma célula solar em um painel solar.



Fonte: Adaptado de Mariano e Urbanetz Junior (2022).

Com os constantes avanços no desenvolvimento de células solares, novas tecnologias passaram a ser utilizadas buscando otimizar o processo de construção além de baratear os custos e melhorar a eficiência das células. Atualmente é possível dividir as formas de construção das células solares em quatro gerações, apresentadas na Tabela 2:

**Tabela 2** - Gerações das células solares.

GERAÇÃO	CONSTRUÇÃO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
<b>Primeira Geração</b>	Baseadas em silício monocristalino e policristalino e no Arseneto de gálio (GaAs) são as células mais antigas e mais utilizadas. A eficiência destas células varia entre 17% e 30,5%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Monocristalino: São 20% mais eficientes; Necessitam de menos espaço devido a maior eficiência; Melhor desempenho em locais nublados;</li> <li>● Policristalino: Melhor custo-benefício na fabricação; Pouca influência do aumento da temperatura;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Monocristalino: São mais caras; O aumento da temperatura reduz o desempenho; Geração de resíduos na fabricação;</li> <li>○ Policristalino: Possuem menor eficiência (13 a 16%); Necessitam de maior espaço para instalação;</li> </ul>
<b>Segunda Geração</b>	Consiste em finas camadas de silício amorfo e de silício microcristalino além de finas camadas fabricadas com Telureto de Cádmio (CdTe), Sulfeto de Cádmio (CdS) e de Seleneto de Cobre Índio e Gálio (CIGS). A eficiência destas células varia entre 14% e 23,4%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>São flexíveis e permitem diferentes aplicações;</li> <li>Mais baratas que as de primeira geração;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa eficiência para uso residencial;</li> <li>Menor tempo de vida;</li> </ul>

<p><b>Terceira Geração</b></p>	<p>São tecnologias comerciais “emergentes” como:</p> <p>Células solares orgânicas: baseadas em polímeros orgânicos condutores;</p> <p>Células de perovskita: baseadas em um mineral constituído por Óxido de Titânio e Cálcio (<math>\text{CaTiO}_3</math>);</p> <p>Células sensibilizadas por corantes: baseadas em finas camadas de <math>\text{ZnO}</math>, <math>\text{SnO}_2</math> ou <math>\text{TiO}_2</math> sensibilizadas com um corante;</p> <p>Células de pontos quânticos: utilizam pontos quânticos (átomos criados artificialmente) como material fotovoltaico;</p> <p>Células de múltiplas junções.</p> <p>A eficiência destas células varia entre 13% e 47,1%.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Células solares orgânicas: Boa eficiência mesmo em ambientes pouco iluminados; Boa durabilidade;</li> <li>● Células de perovskita: Tem potencial para alto desempenho; Baixo custo;</li> <li>● Células sensibilizadas por corantes: Baixo custo; Fácil construção; Baixa toxicidade e grande disponibilidade;</li> <li>● Células de pontos quânticos: Possuem um intervalo entre as bandas de energia (<i>band gap</i>) ajustáveis; Podem utilizar mais de 65% da energia do sol para produzir eletricidade;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Células solares orgânicas: Necessitam de excelentes pares redox; Necessitam de uma película mais robusta se comparada às de silício; Tecnologia em fase de desenvolvimento;</li> <li>○ Células de perovskita: Ainda em fase de desenvolvimento;</li> <li>○ Células sensibilizadas por corantes: Baixa eficiência de comparada às outras células (12%);</li> <li>○ Células de pontos quânticos: Podem ser facilmente degradados por raios UV, calor, oxigênio e água;</li> </ul>
<p><b>Quarta Geração</b></p>	<p>Células híbridas que combinam o baixo custo e a flexibilidade das finas camadas de polímeros com a estabilidade das nanoestruturas orgânicas, como as nanopartículas metálicas e óxidos metálicos, ou nanotubos de carbono, grafeno e seus derivados. A eficiência destas células varia entre 8,6% e 25%.</p>	<p>Excelente viabilidade; Flexibilidade; Baixa volatilidade</p>	<p>Ainda em fase de desenvolvimento;</p>

Fonte: Adaptado de Kant e Singh (2022).

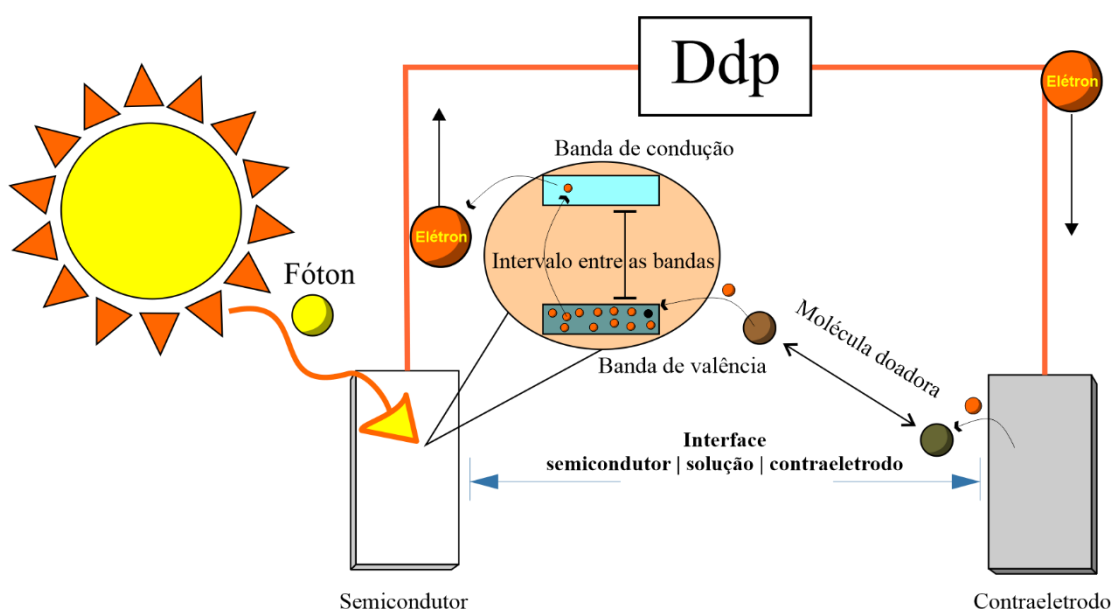
Cada uma destas tecnologias ainda vem passando por otimizações de forma a encontrar melhores combinações de materiais possibilitando a utilização em diferentes aplicações, em especial, as células solares sensibilizadas por corantes que fazem parte da terceira geração.

### 3.3.3 Células solares sensibilizadas por corantes

É possível converter a energia solar em energia elétrica através de processos fotoeletroquímicos. Nestes sistemas, descreve Longo e De Paoli (2003), existe um material semicondutor em contato com uma solução contendo um mediador redox, e que está ligado a um contra-eletródo (que pode ser) metálico através de um circuito externo. Quando este sistema é iluminado, o semicondutor absorve a energia dos fótons e se esta for suficiente, promove a formação dos pares elétron/lacuna. Em outras palavras, um elétron é promovido da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC) deixando na banda de valência uma lacuna (ou buraco), com carga positiva. À medida que o elétron se afasta da interface do semicondutor

(parte mais externa e que está em contato com a solução) e se dirige para o circuito externo, a lacuna migra para a interface do semiconductor. Na interface, a lacuna é capaz de oxidar um doador de elétrons em solução (mediador redox). A molécula que foi oxidada na solução difunde-se para o contra-eletrodo, onde pode ser reduzida, completando os processos fotoeletroquímicos. Desse modo, apenas eletricidade é produzida já que os materiais não são consumidos na reação química tendo em vista que, para cada molécula oxidada na interface semiconductor-solução, uma reação de redução na interface solução-contra-eletrodo compensará a deficiência de elétrons, como apresentado na Ilustração 2.

**Ilustração 2** - Representação do processo fotoeletroquímico.



Fonte: Adaptado de Longo e De Paoli (2003).

Esta capacidade de fotoconversão está intimamente ligada aos materiais semicondutores. Estes são capazes de absorver a energia solar devido a existência de uma energia mínima necessária para formar pares elétron-lacuna nas bandas de energia (banda de valência e banda de condução). Na banda de valência predomina, na ausência de fotoexcitação, uma elevada densidade de elétrons e na banda de condução, nas mesmas condições, apresenta baixa densidade de portadores eletrônicos. Nesse sentido, *“para que os semicondutores apresentem condutividade necessita-se de portadores de carga, ou seja, é necessário que alguns elétrons sejam promovidos da banda de valência para a de condução, por efeito térmico ou fotoexcitação”* (LONGO, 1998, p. 6). Além disso, a quantidade de energia necessária para promover os elétrons é proporcional ao intervalo energético entre as bandas (também chamado de zona proibida ou *band gap*). Nesse contexto, sempre que um elétron recebe energia suficiente serão gerados dois portadores de carga, em que o primeiro é o próprio elétron promovido à

banda de condução e o segundo é a lacuna formada pela saída do elétron na banda de valência (LONGO, 1998).

Muitos dos materiais semicondutores que possuem um *band gap* apropriado sofrem fotocorrosão. É o caso do seleneto de cádmio (CdSe) que possui um *band gap* de 1,7 eV porém, sofre uma eficiente fotocorrosão capaz de gerar cátions metálicos solúveis. Outros materiais, como o silício (1,14 eV) e o fosforeto de índio (1,35 eV), podem reagir com água ou oxigênio para gerar camadas eletricamente isolantes. Este tipo de interação impossibilita que estes materiais sejam utilizados em célula solares. Outros materiais menos suscetíveis a esse problema, apresentam um *band gap* elevado de forma que a promoção de elétrons da banda de valência para a banda de condução é dificultada como é o caso do dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) – com *band gap* de 3,2 eV – e o dióxido de estanho (SnO<sub>2</sub>) – com *band gap* de 3,8 eV (LONGO, 2003; YAN et al., 1997; GRATZEL, 2001). Devido a isso, estes semicondutores com elevado *band gap*, podem ser modificados com corantes sensibilizantes capazes de absorver a luz. O mecanismo de interação com a luz é similar aos já citados com a diferença de que, neste caso, o corante será o responsável por transferir elétrons para a banda de condução do material semicondutor, sofrendo oxidação e posteriormente redução através da molécula doadora do eletrólito, fechando o circuito. Neste caso, afirma Longo e De Paoli (2003, p. 890):

O rendimento da fotocorrente depende das propriedades espectrais e redox do corante, dos seus tempos de vida no estado excitado, da eficiência da injeção de carga, da condutividade iônica do eletrólito e das propriedades do eletrodo semicondutor para recolher e canalizar os elétrons através do circuito externo.

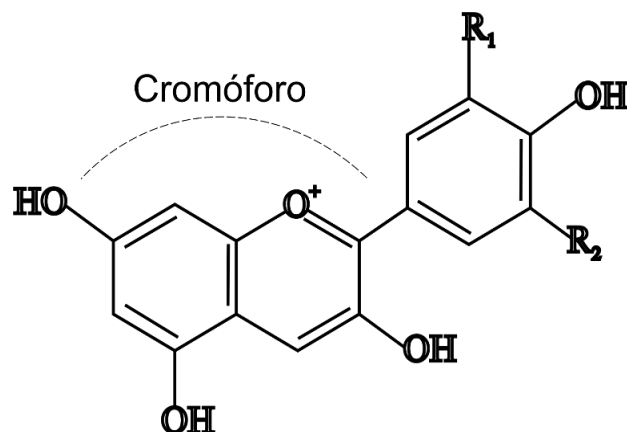
Os corantes que podem ser utilizados na construção destes tipos de células precisam cumprir alguns requisitos como: absorver em toda região do visível e parte do infravermelho; ser facilmente adsorvido pelo semicondutor; a velocidade de injeção de elétrons do corante no semicondutor deve ser superior a velocidade que o corante retorna ao estado fundamental; deve ser regenerado facilmente pelo mediador redox; deve apresentar estabilidade a luz, calor e química; (HAGFELDT et al., 2010; Sonai et al., 2015). Desse modo, além de materiais como porfirinas, ftalocianinas, complexos de metais como rutênio e entres outros (HAGFELDT et al., 2010), corantes naturais vindos de plantas podem ser utilizados.

#### 3.3.4 Células solares sensibilizadas por corantes naturais

As células solares sensibilizadas por corantes naturais podem utilizar extratos de flores, frutas, vegetais, folhas, caules e etc. como fotossensibilizantes. Arjunan e Senthil (2013) afirmam que por se tratarem de produtos de origem natural, possuem uma boa disponibilidade, são fáceis de extrair, não necessitam de purificação adicional, não prejudicam o ambiente e são

menos dispendiosos. Segundo estes autores, os pigmentos naturais, incluindo a clorofila, os carotenoides, a nasunina, crocetina e as antocianinas estão disponíveis livremente nas folhas, flores e frutos das plantas e têm potencial para serem utilizados como sensibilizadores. Entre estes, as antocianinas (Ilustração 3) são um grupo de compostos fenólicos responsáveis pela cor de muitas flores, folhas de frutos, caules, raízes e legumes.

**Ilustração 3** - Representação da estrutura mais comum das antocianinas.



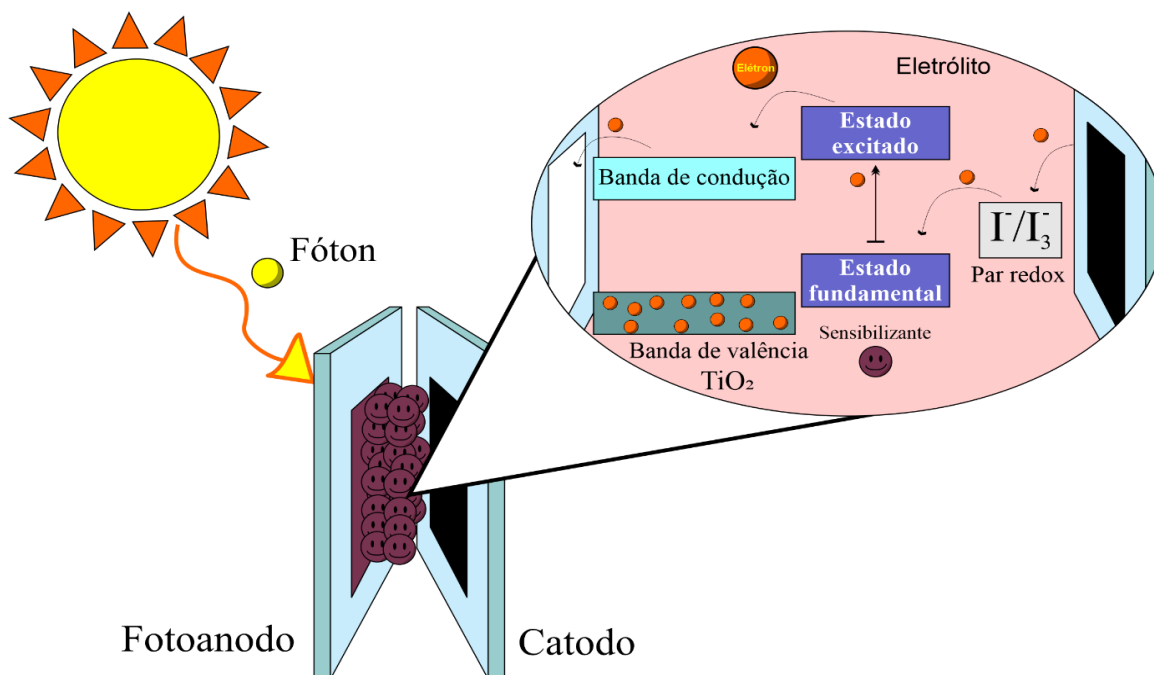
Fonte: Adaptado de Wallace e Giusti (2015). Os grupos  $R_1$  e  $R_2$  indicam possíveis grupos hidroxila, metoxi e hidrogênio.

Os grupos hidroxilas presentes na estrutura das antocianinas são responsáveis pela fixação do corante nos semicondutores (como  $TiO_2$ ) por serem capazes de quelar-se a estrutura do mesmo, facilitando a transferência de elétrons entre o corante e a banda de condução do semicondutor (ARJUNAN e SENTHIL, 2013).

Tanto as células solares sensibilizadas por corantes sintéticos quanto as sensibilizadas por corantes naturais possuem a mesma construção básica: Um fotoanodo que pode ser construído a partir da deposição de um filme de  $TiO_2$  sobre um substrato de vidro transparente, coberto com uma camada condutora de óxido de estanho dopado com flúor (FTO) ou óxido de estanho dopado com índio (ITO). Sobre esta camada condutora este mesmo  $TiO_2$  será posteriormente, sensibilizado com o corante. Além disso, a célula é constituída por um contra-eletrodo (ou catodo) que pode ser preparado a partir da deposição de materiais como platina, nanotubos de carbono, grafite, grafeno, polímeros condutores e dentre outros. De forma geral, o contra-eletrodo pode ser depositado, também, sobre um substrato de FTO ou ITO. Por fim, o sistema requer um eletrólito contendo um mediador redox em que o mais comumente utilizado é o par iodeto/triodeto ( $I^-/I_3^-$ ) (SONAI et al., 2015). Cada um dos eletrodos é então disposto de modo que as áreas modificadas se mantenham voltadas uma para a outra e o eletrólito pode ser inserido entre eles. O mecanismo de funcionamento desta célula é similar ao que já foi

apresentado na Ilustração 2, porém, como dito anteriormente, o corante será o responsável por injetar elétrons na banda de condução do semiconductor.

**Ilustração 4** - Mecanismo de funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corantes.



Fonte: Adaptado de Sonai et al. (2015).

### 3.3.5 A juçara como sensibilizante em células solares

A palmeira açáí ou açazeiro (*Euterpe oleracea* Martius) é natural da região Amazônica e está presente principalmente nos Estados do Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão (OLIVEIRA et al., 2022). No Maranhão é popularmente conhecida como juçara devido a sua semelhança com a palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius), natural da Mata Atlântica nas regiões sul e sudeste do Brasil (GODOY et al., 2022). O açazeiro apresenta perfilho (ramos laterais, novos caules) que podem chegar até 35 estirpes (tipo de caule) que variam de 3 a 20 m e possuem como principal produto o seu fruto, para a fabricação de polpas, e o palmito (OLIVEIRA et al., 2022). O uso desta palmeira para produção de frutos já ultrapassa os séculos, onde inicialmente, eram produzidos e consumidos pelos povos indígenas da região. Os frutos do açazeiro não são consumidos in natura por apresentarem pouco conteúdo, porém passam por um processo de despulpamento em máquinas ou manualmente utilizando água morna para a obtenção da polpa denominada açáí (OLIVEIRA et al., 2022).

Os frutos do açáí são ricos em compostos fenólicos e antocianinas (BICUDO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2022), o que pode ser constatado pela coloração característica. Segundo Oliveira et al. (2022) as principais antocianinas encontradas na polpa do açáí são a



cianidina-3-glicosídeo e a cianidina-3-rutinosídeo. Na literatura existem, até a presente data, poucos trabalhos que citam o uso do açaí como sensibilizante em células solares, porém Cansian (et al., 2016) ao estudarem corantes naturais por análise espectrofotométrica para a aplicação em células solares, incluindo a juçara, revelam o potencial que este fruto tem para utilização em células deste tipo ao apresentarem absorção entre 400 e 700 nm (região do visível).

## 4 METODOLOGIA

Neste tópico serão abordados o tipo de pesquisa e os procedimentos experimentais utilizados para a construção da célula solar sensibilizada com polpa de juçara e sua adaptação para a sala de aula.

### 4.1 Tipo de pesquisa

Esta pesquisa pode ser classificada quanto a sua finalidade como pesquisa aplicada, que, segundo Gil (2017, p. 33), são “*pesquisas voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica*”. Neste tipo de pesquisa, há a produção de um conhecimento que pode ser utilizado de forma prática na busca pela resolução de um problema real, que neste trabalho é a contribuição para melhoria da educação básica. Desta forma, o desenvolvimento do trabalho foi realizado em duas etapas: primeiramente, foi avaliada a aplicabilidade da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara na construção de uma célula solar sensibilizada por corantes naturais. Foram analisados dados como: fotocorrente na ausência e presença de luz bem como o efeito da adição de ácido ascórbico no meio (molécula doadora de elétrons); impedância eletroquímica na ausência e presença de luz em solução de ácido ascórbico; e curva corrente *versus* potencial na presença e ausência de luz. Na sequência a célula solar construída utilizando a plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara foi adaptada para aplicação em sala de aula junto a uma proposta de uma sequência didática.

### 4.2 Parte experimental

Nesta seção serão descritos os materiais, reagentes e procedimentos utilizados na construção e caracterização da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara e da célula solar, além do procedimento de adaptação para sala de aula.

#### 4.2.1 Materiais e reagentes

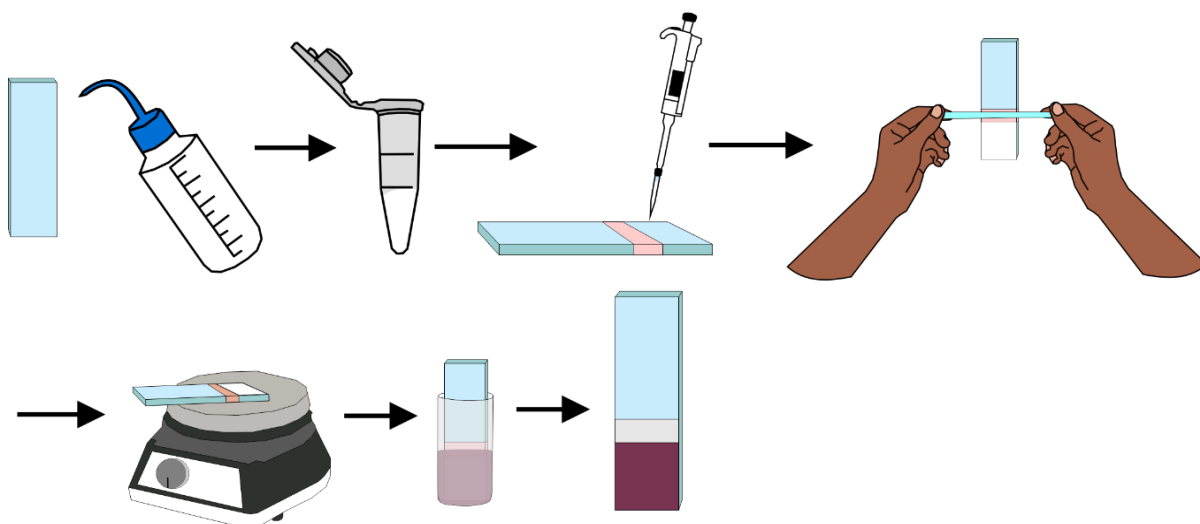
Todos os reagentes utilizados neste trabalho são de grau analítico adquiridos na Sigma-Aldrich e não passaram por etapas de purificação. A polpa de juçara foi obtida em uma feira da cidade de São Luís e foi utilizada durante todo o trabalho da mesma forma que foi adquirido, sem nenhuma etapa de purificação, apenas mantendo-a congelada enquanto não fosse utilizada. O material foi fracionado e congelado de forma a sofrer apenas o descongelamento previamente ao uso. Os substratos de vidro condutor de óxido de estanho dopado com flúor (FTO) foram

adquiridos na Sigma-Aldrich. Os substratos de vidro condutor de óxido de estanho dopado com índio (ITO) foram adquiridos da Green Technology (Aliexpress).

#### 4.2.2 Construção da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara (fotoanodo)

Na construção do fotoanodo foram utilizadas adaptações do trabalho de Amadi et al. (2015). Os substratos de vidro condutor (FTO) foram inicialmente lavados cuidadosamente com água deionizada, detergente e álcool etílico. Depois de seco, a superfície condutora do eletrodo foi demarcada com fita, deixando uma área de aproximadamente 1,0 cm<sup>2</sup>. A pasta de TiO<sub>2</sub> foi preparada misturando 220 µL de solução de ácido acético 10% em 50 mg de TiO<sub>2</sub> (anatase). A mistura foi agitada manualmente durante 2 minutos. Da pasta foram retirados 20 µL e adicionados na área demarcada de FTO. Em seguida, o material foi espalhado com um bastão de vidro de uma extremidade à outra formando uma fina camada. O eletrodo foi deixado para secar na temperatura ambiente durante 20 minutos. Após o processo de secagem, o eletrodo foi levado à chapa para sinterização durante 1 hora à 120 °C, aumentando a temperatura gradativamente em aproximadamente 10 °C a cada 4 minutos. Posteriormente, o eletrodo foi retirado da chapa e deixado para esfriar na temperatura ambiente. Na sequência, o eletrodo modificado com TiO<sub>2</sub> foi sensibilizado ao imergi-lo em um recipiente contendo 1,5 mL de polpa de Juçara de modo que cobrisse toda a área modificada, por 30 minutos. Após 30 minutos o eletrodo foi lavado com água deionizada e deixado para secar na temperatura ambiente por 20 minutos.

**Ilustração 5** - Procedimento de construção da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara.

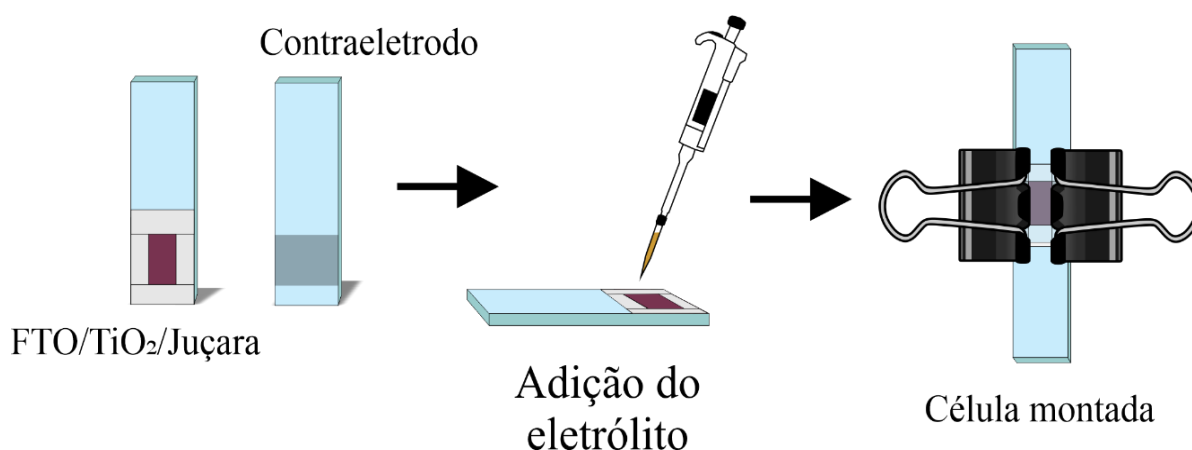


Fonte: Próprio autor.

### 4.2.3 Montagem da célula solar

Os eletrodos sensibilizados com juçara tiveram a área modificada delimitada com fita a fim de evitar o vazamento do eletrólito. Posteriormente, foi adicionado 10  $\mu\text{L}$  da solução do eletrólito contendo o mediador redox ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ), preparada misturando 16,6 mg de Iodeto de Potássio (KI) e 6,3 mg de Iodo ( $\text{I}_2$ ) em 500  $\mu\text{L}$  de etilenoglicol, sobre a superfície modificada permeando todo o filme. Na construção do contra-eletródo foi empregado um lápis de grafite macio 6B da Faber Castell, conforme procedimentos descritos por Smestad e Gratzel (1998), para aplicar uma película de carbono fina com área de 1,0  $\text{cm}^2$  no lado condutivo da placa de FTO. O contra-eletródo foi colocado em cima do eletrodo sensibilizado com juçara, com as partes modificadas frente a frente. Os eletrodos foram presos com cliques de papel para dificultar o vazamento e manter o sistema firme.

**Ilustração 6** - Montagem da célula solar.

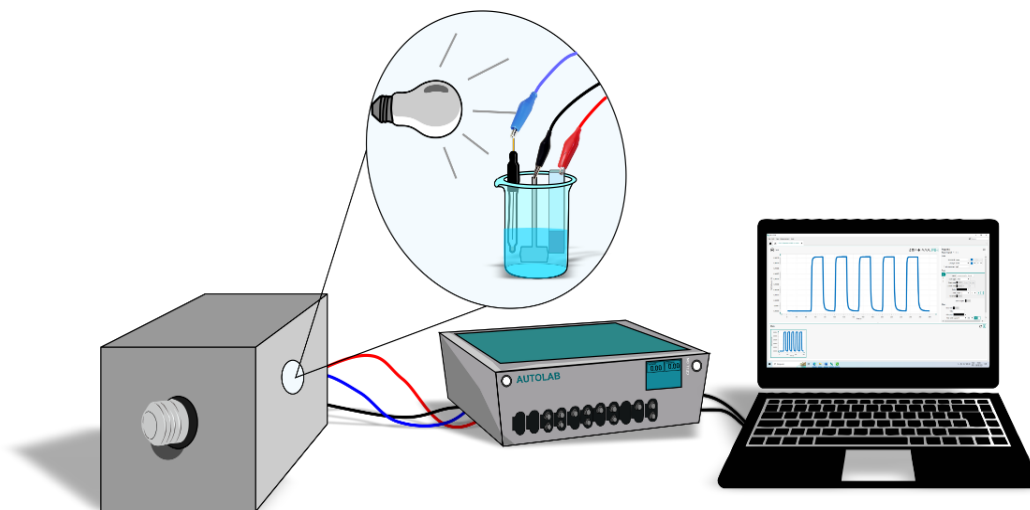


Fonte: Próprio autor.

### 4.2.4 Avaliação da fotocorrente da Plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara

A medida da fotocorrente foi realizada em um Potenciostato PGSTAT 128N e o sistema foi montado em uma caixa fechada para controle da incidência da luz proveniente de uma lâmpada comercial do tipo LED de 36W (Ilustração 7). As medidas de fotocorrente foram realizadas utilizando uma célula convencional de três eletrodos onde o eletrodo de trabalho foi o FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara, com um contra-eletródo de platina (Pt) e um eletrodo de referência de Ag/AgCl saturado com Cloreto de Potássio (KCl). O eletrólito de suporte utilizado foi uma solução tampão fosfato monobásico (PBS) 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,00 e uma solução de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup> preparada em solução tampão fosfato monobásico (PBS) 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,00. O procedimento utilizado foi o de amperometria e o potencial aplicado na célula foi de 0,0 V num tempo de 300 s.

**Ilustração 7** - Esquema do sistema utilizado na realização das medidas fotoeletroquímicas.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.2.5 Caracterização por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

As medidas de Espectroscopia de Impedância Eletroquímicas (EIE) foram realizadas com auxílio de um Potenciostato modelo PGSTAT 128N da Matrohm-Autolab B.V equipado com módulo de impedância e controlado via o software FRA 4.9. As medidas foram realizadas utilizando uma célula convencional de três eletrodos onde o eletrodo de trabalho utilizado foi o FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara, um contra-eletrodo de platina (Pt) e um eletrodo de referência de Ag/AgCl saturado com Cloreto de Potássio (KCl). Foi empregada uma solução de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup> preparado em solução tampão fosfato monobásico (PBS) 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,00. O sistema foi montado dentro de uma caixa escura com tampa acoplada a uma lâmpada LED 36W branca. A plataforma foi avaliada na presença e ausência de luz.

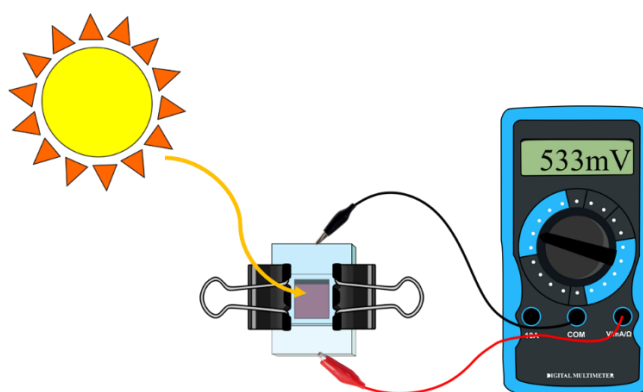
#### 4.2.6 Avaliação do potencial de circuito aberto (OCP)

As medidas de corrente *versus* potencial foram realizadas em um Potenciostato modelo PGSTAT 128N da Matrohm-Autolab B.V. O procedimento utilizado foi o de Voltametria de Varredura Linear, variando o potencial a partir do valor de potencial de circuito aberto, calculado pelo equipamento, até 0,0 V. Para esta medida foi utilizada a célula solar. Como eletrólito de suporte e molécula doadora de elétrons foi utilizada uma solução de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup> preparada em PBS 0,1 mol L<sup>-1</sup> pH 7,00. A célula foi avaliada na presença e ausência de luz.

#### 4.2.7 Adaptação do sistema para escola

O sistema foi adaptado para que o mesmo pudesse ser realizado pelos próprios alunos e facilitar a reprodução pelo professor de Química na escola. No lugar das placas de FTO foram utilizadas dez placas de ITO com dimensões de 50 mm x 50 mm x 1,1 mm, de baixo custo, adquiridas da Green Technology (Aliexpress). Os demais reagentes (dióxido de titânio, ácido acético 10%, etilenoglicol, iodeto de potássio e iodo) foram mantidos. Para construção do fotoanodo foi preparada uma dispersão de  $\text{TiO}_2$  misturando 50 mg do mesmo em 100  $\mu\text{L}$  de ácido acético 10%. A dispersão foi agitada durante 2 minutos manualmente. Os substratos de ITO foram previamente lavados com água deionizada, detergente e álcool etílico e posteriormente secos na temperatura ambiente. O eletrodo foi demarcado com fita adesiva impermeável deixando uma borda livre e uma área de 2 cm x 2 cm próxima ao centro do eletrodo. Na área demarcada foi adicionado 100  $\mu\text{L}$  da dispersão de  $\text{TiO}_2$  que foi espalhada com um bastão de vidro de uma extremidade à outra. Após o processo de secagem, foram adicionadas, com um conta gotas, sete gotas da polpa de juçara na superfície do eletrodo modificado com  $\text{TiO}_2$  de modo a cobrir toda a área modificada por 20 minutos. O eletrodo foi lavado com água deionizada e deixado para secar na temperatura ambiente. Para a construção do contra-eletrodo, conforme procedimento descrito por Amadi et al. (2015), o eletrodo foi colocado sobre a luz de uma vela de parafina até ficar completamente coberto com fuligem de carbono. Em seguida, com a ajuda de um cotonete, foi deixada uma área com cerca de 2 cm x 2 cm próximo ao centro do eletrodo, semelhante ao fotoanodo. Com um conta gotas, foi adicionado uma gota da solução contendo o mediador redox ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) na superfície do eletrodo sensibilizado com juçara. Ambos os lados condutores foram unidos como um sanduíche e presos com cliques de papel para dificultar o vazamento e manter o sistema firme. Informações adicionais podem ser encontradas no Apêndice.

**Ilustração 8** – Medidas realizadas com um multímetro para o sistema adaptado.



Fonte: Próprio autor.

#### 4.2.8 Aplicação do sistema na escola: sequência didática

Para a aplicação do sistema adaptado na escola foi feita uma proposta de sequência didática baseada nas ideias do autor Zabala (1998) na obra “*A prática educativa: como ensinar*”. Os critérios não foram adaptados de forma fiel, mas buscou-se construir e validar a sequência didática aos moldes daquilo que foi pensado pelo autor. A escolha deste autor vai se justificar devido a compatibilidade das ideias dele com a proposta inicial que foi feita da sequência didática, além deste autor ser referência no que se refere às sequências didáticas. A sequência didática possui ao todo quatro momentos que buscam trabalhar os critérios e questões estabelecidas pelo autor.

#### 4.2.9 Aplicação do sistema na escola: relato de experiência

As atividades foram desenvolvidas em uma escola da rede estadual de ensino do município de São José de Ribamar no Estado do Maranhão. O público alvo das atividades foram os alunos do segundo ano do ensino médio devido ao assunto de eletroquímica ser geralmente abordado neste período escolar. As atividades foram realizadas com quatro turmas com aproximadamente 40 alunos em cada. As aulas de química na escola são divididas em aulas teóricas (uma vez na semana) e aulas práticas (uma vez na semana). Para as aulas práticas a turma é dividida em Grupo A e Grupo B devido ao grande número de estudantes. A escola possuía boa estrutura de laboratórios com vidrarias e alguns equipamentos o que facilitou a aplicação das atividades.

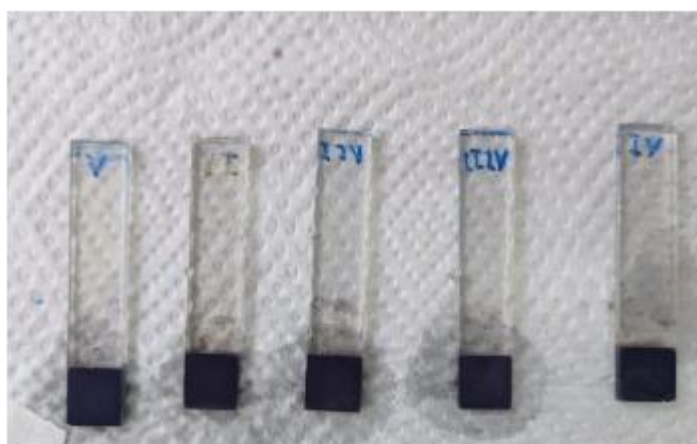
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a forma como o trabalho foi desenvolvido, nesta seção serão discutidos, inicialmente, os resultados obtidos da caracterização da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara e da célula solar construída a partir desta e, em seguida, serão analisados os dados obtidos acerca da adaptação para sala de aula bem como a apresentação da proposta de sequência didática.

### 5.1 Construção da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara

Tomando por base os procedimentos utilizados Amadi et al. (2015), o volume de ácido acético utilizado para o preparo da pasta de TiO<sub>2</sub> foi recalculado para uma massa de 50 mg.

**Figura 1** - Eletrodos logo após a sensibilização com juçara.



Fonte: Próprio autor.

Segundo Bang et al. (2012) a utilização de ácido acético para o preparo da pasta de TiO<sub>2</sub> favorece o aumento do volume dos poros o que provoca um aumento da área superficial e por consequência, há uma melhora na absorção do corante. Além disso, no trabalho dos autores Tehare et al. (2023), foram investigados os efeitos do tratamento ácido nas propriedades fotovoltaicas do TiO<sub>2</sub> em células solares sensibilizadas por corantes, frente a um eletrodo de TiO<sub>2</sub> sem prévio tratamento ácido. Segundo os autores, o filme preparado com ácido acético apresentou melhor eficiência de conversão de corrente, melhor densidade de corrente, maior eficiência de fotoconversão e menor resistência à transferência de cargas.

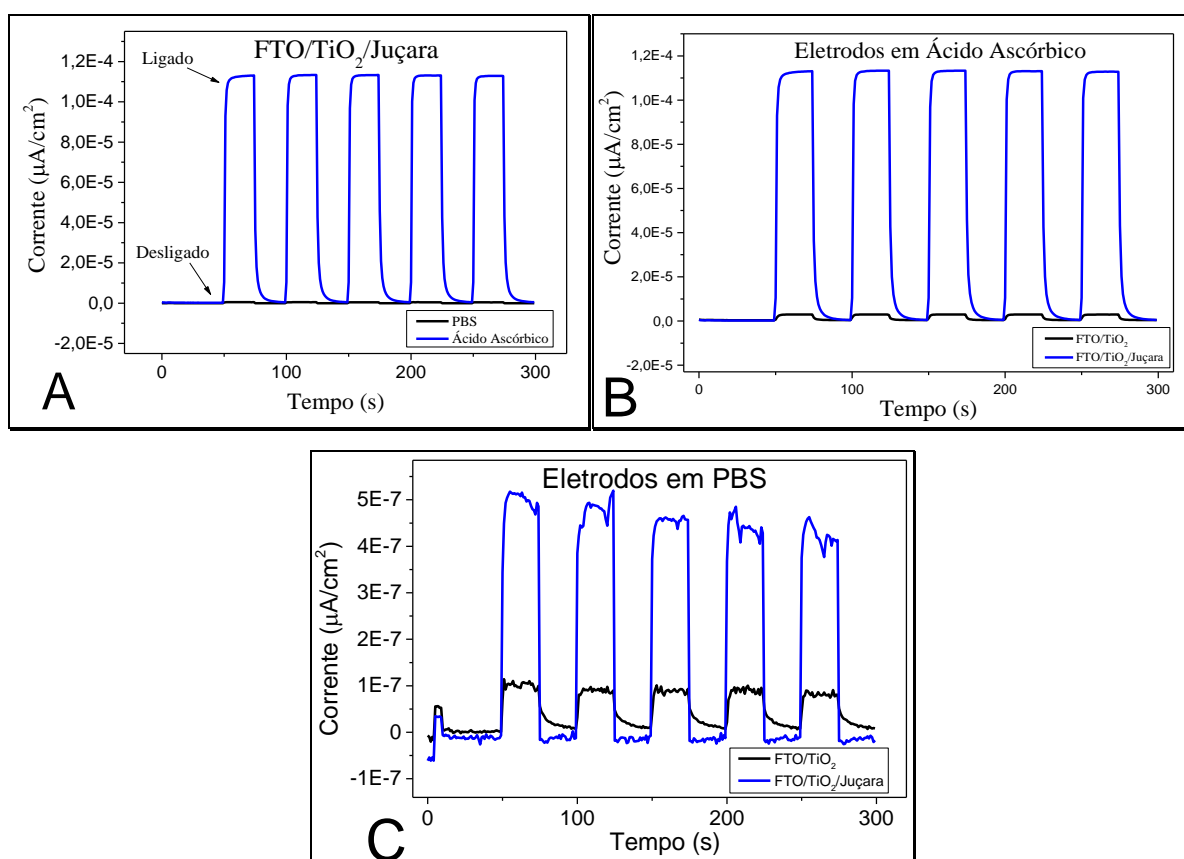
### 5.2 Avaliação da fotocorrente da plataforma

As medidas de corrente em função do tempo foram realizadas a fim de avaliar a sensibilidade a luz na região do visível (UV-vis) da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara. A não aplicação de um potencial nestas células (0,0 V) implica em um sistema autoalimentado, ou



seja, a corrente observada é resultado apenas dos processos que acontecem no sistema, sem nenhuma influência. A aplicação de um potencial pode levar a um aumento da fotocorrente catódica ou anódica. Nesse sentido, as correntes obtidas foram normalizadas em função da área do eletrodo para se obter a densidade de corrente por centímetro quadrado ( $\text{cm}^2$ ). Os dados obtidos são apresentados na figura abaixo.

**Figura 2** - Amperogramas da plataforma FTO/ $\text{TiO}_2$ /Juçara. (A) Fotocorrente da plataforma FTO/ $\text{TiO}_2$ /Juçara em PBS e na presença de ácido ascórbico; (B) Comparação das densidades de corrente do eletrodo não sensibilizado e do eletrodo sensibilizado com juçara; (C) Comparativo entre FTO/ $\text{TiO}_2$ /Juçara e FTO/ $\text{TiO}_2$  na ausência de ácido ascórbico.



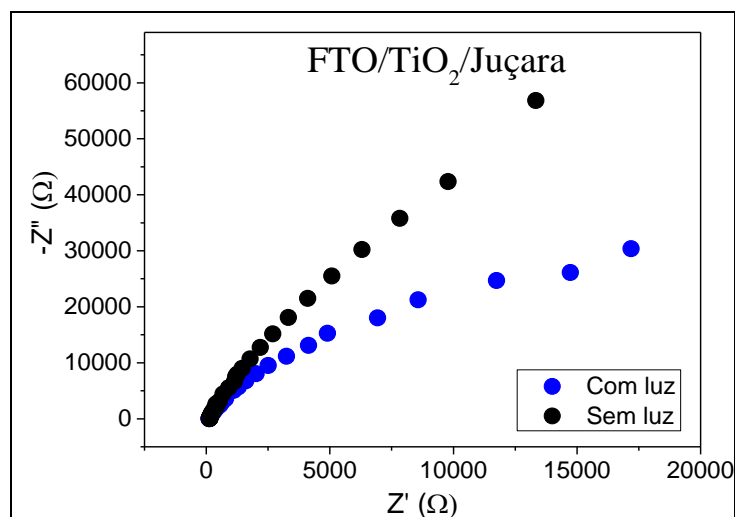
Com base nos dados observados no amperograma, é possível verificar que os filmes produzidos com polpa de juçara apresentaram boa sensibilidade a luz na região do visível (Figura 2-A). Isto é explicado devido a formação dos pares elétron/lacuna a partir da absorção da luz pelo semicondutor. Este efeito é potencializado com a sensibilização do  $\text{TiO}_2$  com a juçara, levando a um aumento da densidade de fotocorrente observada (Figura 2-B). Além disso, observa-se que a Plataforma FTO/ $\text{TiO}_2$ /Juçara não apresenta uma densidade de fotocorrente considerável, quando apenas em solução PBS  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ , em comparação com a plataforma FTO/ $\text{TiO}_2$  e, sofre um aumento expressivo na densidade de fotocorrente quando se adiciona uma molécula doadora de elétrons como o ácido ascórbico. Isto evidencia a necessidade de se utilizar uma espécie doadora de elétrons na solução eletrolítica que seja capaz

de doar elétrons para o sensibilizador, favorecendo a eficiência do funcionamento do sistema fotoeletroquímico.

### 5.3 Caracterização por Espectroscopia de Impedância Eletroquímica (EIE)

A caracterização por EIE visa avaliar a resistência a transferência de cargas da Plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara na presença e ausência de luz, em meio a uma molécula doadora de elétrons. É uma técnica muito útil em sistemas eletroquímicos nos quais há grande relevância da interface eletrodo-solução. Nesta técnica são aplicadas pequenas variações de potencial elétrico na célula eletroquímica em uma ampla faixa de frequências. A resposta elétrica resultante é registrada e analisada em termos de impedância complexa, que possui uma parte real, apresentada como  $Z'$  (resistência) e uma parte imaginária, apresentada como  $-Z''$  (reatância) (RIBEIRO, 2020). Na Figura 3 são apresentados os gráficos de Nyquist para a plataforma frente na presença e ausência de luz.

**Figura 3** - Gráfico de Nyquist para a plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara em solução de ácido ascórbico 0,1 mol L<sup>-1</sup> em PBS 0,1 mol L<sup>-1</sup> obtidos na presença e ausência de luz.



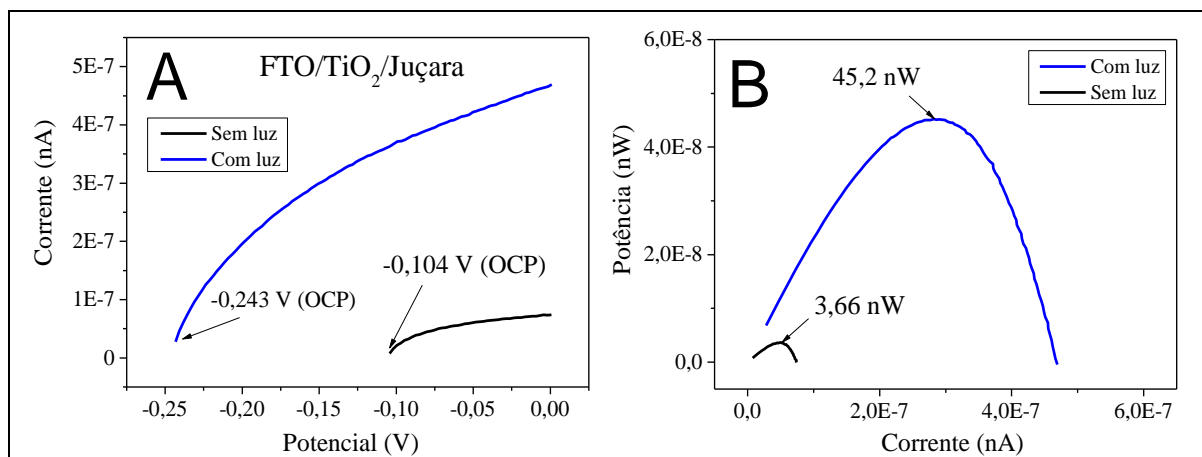
A diminuição do raio do semicírculo no gráfico, na presença de luz, sugere que o sistema tem a resistência ao processo de transferência de cargas na interface eletrodo/solução reduzida. Isto pode estar relacionado ao favorecimento do processo de separação dos pares elétron/lacuna como consequência da incidência de luz no sistema.

### 5.4 Avaliação do potencial de circuito aberto (OCP) e potência do sistema

O potencial de circuito aberto é dado como a medida da diferença de potencial elétrico (ddp ou tensão) entre dois pontos de um circuito quando não há corrente fluindo entre eles. Ou seja, é a tensão máxima que pode ser medida em um circuito quando nenhum dispositivo está

conectado entre os dois pontos. As medidas de OCP foram realizadas com a célula solar conforme procedimento detalhado na metodologia.

**Figura 4** - Curvas de corrente *versus* potencial e potência *versus* corrente obtidas para a célula solar sensibilizada na presença e ausência de luz. (A) Os valores encontrados de OCP para o sistema. (B) Potência máxima do sistema.

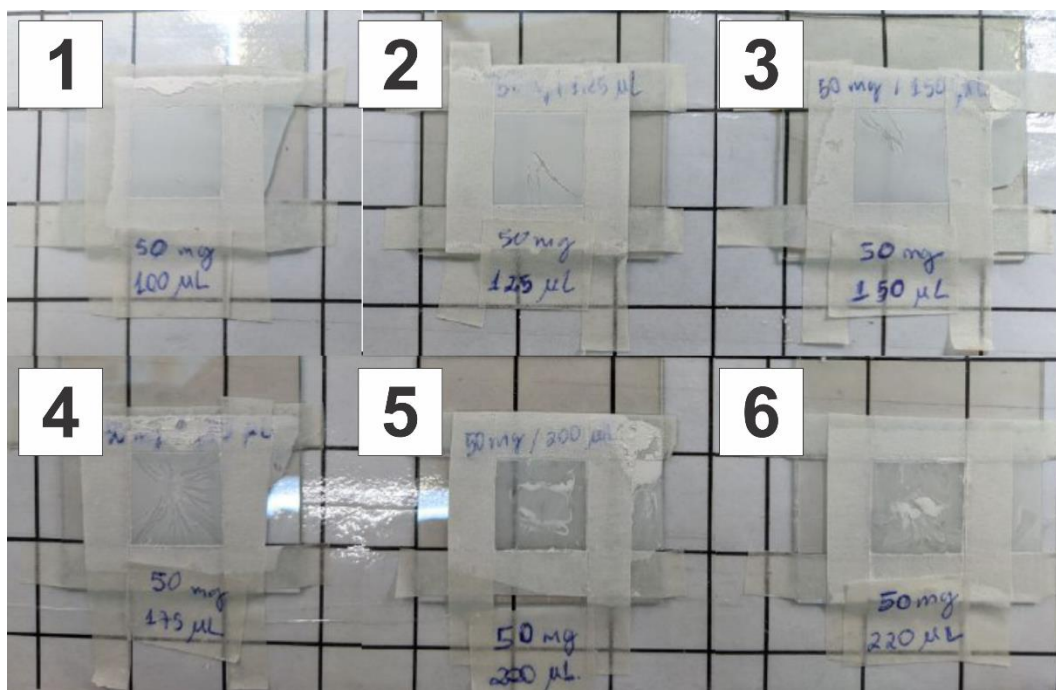


O valor de OCP é calculado pelo próprio software e depois é aplicado pelo mesmo para encontrar a corrente máxima e por consequência, a potência máxima do sistema. A potência máxima que o sistema pode gerar foi encontrada a partir da multiplicação do módulo do potencial pela corrente. Esta indica a quantidade máxima de energia que o sistema pode fornecer ou absorver em um determinado período de tempo. A partir do gráfico apresentado na Figura 4 é possível observar os valores de OCP para o sistema na presença de luz (-0,243 V) e na ausência de luz (-0,104 V). Nota-se também um aumento do potencial quando há a incidência de luz, evidenciado pelos valores obtidos e pela característica do gráfico. A variação nos valores de OCP influencia diretamente na potência máxima observada.

## 5.5 Adaptação do sistema para escola

O sistema foi adaptado a fim de melhorar a visualização e facilitar a replicação da célula pelos alunos. Desse modo, a utilização dos eletrodos de ITO de baixo custo incorreu na necessidade de alteração nos métodos de modificação. Foi realizada uma otimização na pasta de TiO<sub>2</sub> visto que nas proporções utilizadas para o substrato de FTO não houve uma boa aderência do filme no eletrodo de ITO como pode ser observado no sexto eletrodo da Figura 5.

**Figura 5** - Eletrodos de ITO modificados com  $\text{TiO}_2$ .



Fonte: Próprio autor.

A massa de  $\text{TiO}_2$  foi mantida (Tabela 3), porém o volume de ácido acético foi variado de 220  $\mu\text{L}$  até 100  $\mu\text{L}$ .

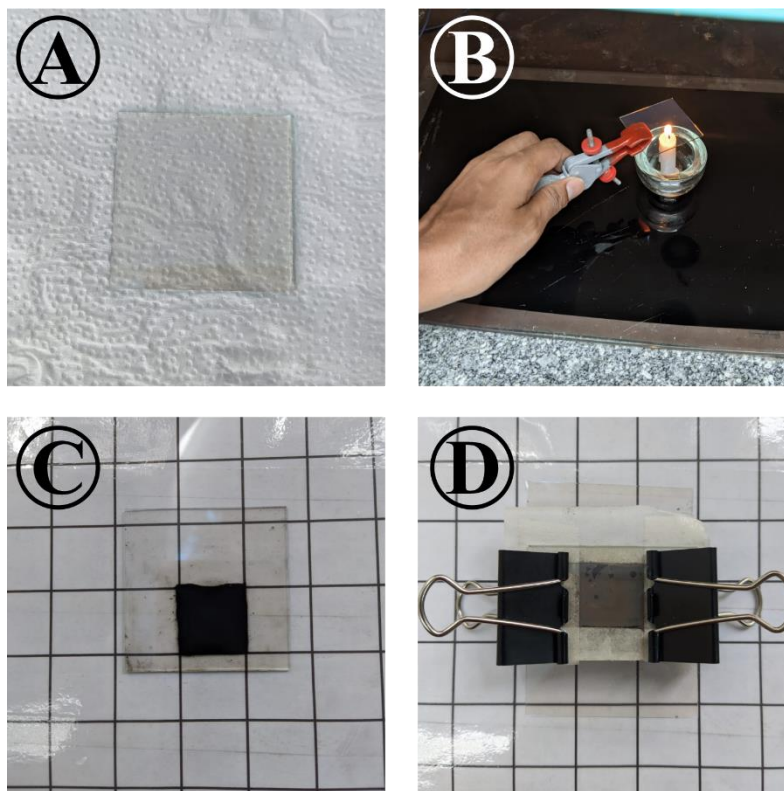
**Tabela 3** - Massas e volumes utilizados para a confecção dos filmes de  $\text{TiO}_2$ .

Massa $\text{TiO}_2$	50 mg	50 mg	50 mg	50 mg	50 mg	50 mg
Volume Ácido Acético	220 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$	175 $\mu\text{L}$	150 $\mu\text{L}$	125 $\mu\text{L}$	100 $\mu\text{L}$

Desse modo, a partir dos aspectos observados de cada um dos filmes apresentados na Figura 5, optou-se por utilizar uma pasta com 50 mg de  $\text{TiO}_2$  em 100  $\mu\text{L}$  de ácido acético (primeiro eletrodo) em virtude da boa homogeneidade e boa adesão na superfície do ITO após a lavagem (sem imagens registradas). Os eletrodos não foram sinterizados para evitar que o filme de  $\text{TiO}_2$  fixasse permanentemente permitindo assim, que as placas de ITO pudessem ser reaproveitadas.

Outra alteração foi a não utilização do contra-eletrodo com grafite de lápis devido ao mesmo não “riscar” o eletrodo formando uma camada como demonstrado na Figura 6 (A). Em contrapartida obteve-se êxito na utilização da fuligem de uma vela de parafina de acordo com procedimentos adaptados apresentados na metodologia do trabalho.

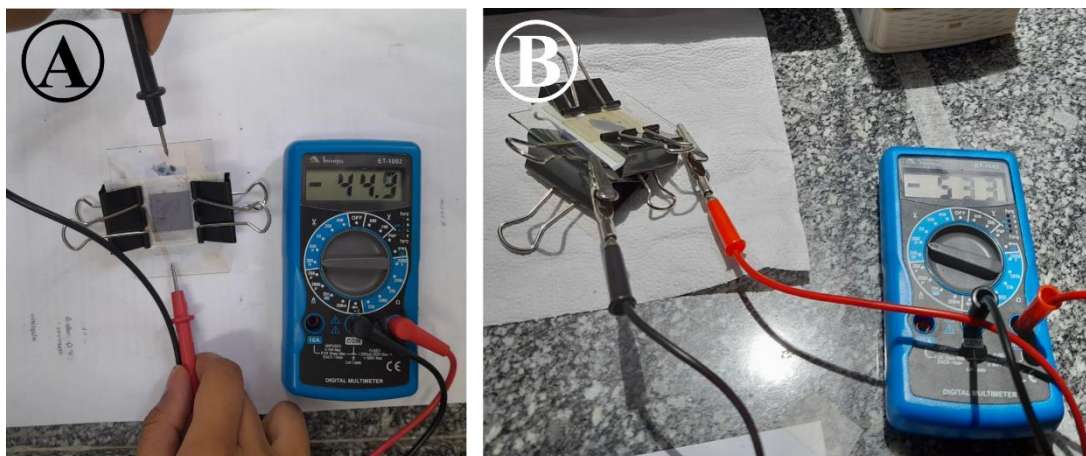
**Figura 6** - Contra-eletrodos e célula solar montada.



Fonte: Próprio autor. (A) Tentativa de modificação do eletrodo com grafite de lápis; (B) Processo de modificação do contra-eletrodo com fuligem produzida a partir de uma vela de parafina; (C) Imagem do contra-eletrodo com fuligem de vela; (D) Célula solar sensibilizada por juçara montada.

Para sensibilizar os filmes, 1,5 mL da polpa de juçara foram adicionados diretamente na superfície modificada do eletrodo de forma que cobrisse toda a mesma. A construção da célula solar seguiu os mesmos procedimentos descritos na metodologia. As células construídas desta forma não foram avaliadas segundo os parâmetros utilizados para a plataforma já mencionados devido a maior área modificada o que leva a um aumento na resistência do material e que pode danificar o equipamento. Desse modo, as medidas foram realizadas com o auxílio de um multímetro (Figura 7), avaliando-se a variação da tensão observada na incidência da luz do Sol diretamente.

**Figura 7** - Variação da tensão observada da célula solar com e sem a incidência da luz do Sol.



Fonte: Próprio autor. A diferença de potencial observada (A) sem a incidência da Luz do Sol foi de 44,9 mV e (B) com a incidência da luz do Sol direta foi de 533 mV. O sinal negativo indica que os contatos foram invertidos durante a medida

## 5.6 Uma proposta de sequência didática

Neste tópico será apresentada uma proposta de sequência didática que objetiva abordar o trabalho de Célula solar sensibilizada por juçara dentro do ensino médio. Segundo Zabala (1998, p. 18) as sequências didáticas “*são um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos*”. O autor ainda estabelece seis perguntas necessárias para a construção de uma boa sequência didática.

Na sequência didática existem atividades: a) que nos permitam determinar os conhecimentos prévios que cada aluno tem em relação aos novos conteúdos de aprendizagem? b) cujos conteúdos são propostos de forma que sejam significativos e funcionais para os meninos e as meninas? c) que possamos inferir que são adequadas ao nível de desenvolvimento de cada aluno? d) que representem um desafio alcançável para o aluno, quer dizer, que levam em conta suas competências atuais e as façam avançar com a ajuda necessária; portanto, que permitam criar zonas de desenvolvimento proximal e intervir? e) que provoquem um conflito cognitivo e promovam a atividade mental do aluno, necessária para que estabeleça relações entre os novos conteúdos e os conhecimentos prévios? f) que promovam uma atitude favorável, quer dizer, que sejam motivadoras em relação à aprendizagem dos novos conteúdos? g) que estimulem a autoestima e o autoconceito em relação às aprendizagens que se propõem, quer dizer, que o aluno possa sentir que em certo grau aprendeu, que seu esforço valeu a pena? h) que ajudem o aluno a adquirir habilidades relacionadas com o aprender a aprender, que lhe permitam ser cada vez mais autônomo em suas aprendizagens? (ZABALA, 1998, p. 63-64)

Desse modo, a proposta é dividida em quatro momentos (Tabela 4): apresentação do tema, desenvolvimento do tema e aplicação dos conhecimentos adquiridos. O primeiro momento consiste em uma aula teórica com o tratamento dos seguintes temas: fontes de energia renováveis, buscando apresentar a importância destas fontes e os conceitos de sustentabilidade; a energia solar, apresentando o que é e de que forma esta energia chega até a Terra; as células



solares de forma geral, explicando de maneira simplificada como se pode aproveitar a energia do sol para produzir a energia elétrica; e as reações de oxidação e redução e como aproveitá-las para produção de energia elétrica. Estes temas estão presentes no cotidiano do aluno e precisam ser transmitidos como tal, buscando sempre dialogar com os alunos para que possam trazer, também, suas perspectivas e pontos de vista a respeito. Os temas podem ser apresentados em forma de analogias simples visando fazer o aluno entender a importância que estes têm para a construção do seu conhecimento. Uma proposta de Plano de aula pode ser encontrada no Apêndice. O segundo momento, consiste em uma aula prática experimental sobre as células solares sensibilizadas por juçara. Deverá ser apresentado o funcionamento básico desse tipo de célula solar, limitando-se aos conhecimentos de reações de oxidação e redução para produção de energia elétrica (como no caso das pilhas) que foram abordados em sala de aula. Durante a aula é necessário que os alunos realizem as atividades, ou seja, coloquem “a mão na massa”. O professor deve orientá-los durante toda a execução. Uma proposta de Plano de aula e Roteiro experimental estão disponíveis no Apêndice. O terceiro momento consiste em propostas de trabalhos pelos alunos. A partir da construção da célula solar sensibilizada com juçara, os alunos podem trazer propostas de outros materiais para serem utilizados como corantes na confecção das células. No quarto momento as células construídas podem ser apresentadas pelos alunos na forma de trabalho em grupo.

**Tabela 4** - Proposta estrutural da sequência didática.

<b>SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b>	
Tema	Células solares sensibilizadas por corantes naturais
Objetivos	Compreender os conceitos de células solares e de reações de oxidação e redução envolvidos na construção e operação de uma célula solar sensibilizada por polpa de juçara; Empregar os conhecimentos adquiridos na construção de células solares sensibilizadas por corantes naturais.
Habilidades	EM13CNT103, EM13CNT106 e EM13CNT309.
Tempo de execução	Quatro aulas (Podendo variar dependendo da aplicação)
Materiais necessários	Placas de vidro condutor (ITO), solução de iodeto/triiodeto, solução de ácido acético 10 %, dióxido de titânio (TiO <sub>2</sub> ), polpa de juçara, vela de parafina, fita crepe, prendedor de papel, papel milimetrado, palitos de fósforo, multímetro e Datashow.

<b>1º MOMENTO – Apresentação dos conceitos</b>	
Organização da turma	A turma será organizada em roda.
Introdução	No início da aula será apresentado a problemática: <i>“Como podemos utilizar reações químicas para produzir energia elétrica através do Sol?”</i> .
Desenvolvimento	Será ministrada uma aula expositiva dialogada abordando os conceitos de fontes de energia renováveis e sustentabilidade, energia solar, células solares, reações de oxidação e redução e a produção de energia através de reações de oxirredução.
Conclusão	O primeiro momento se encerrará com a breve explicação do que será realizado durante a aula prática.
<b>2º MOMENTO – Construção de uma célula solar sensibilizada por polpa juçara</b>	
Organização da turma	A turma será dividida em duas bancadas. Em cada bancada deverão estar disponibilizados os materiais para construção das células solares. Deverão ser construídas duas células, uma por bancada.
Introdução	No início da aula serão apresentados os cuidados necessários para a realização da atividade prática.
Desenvolvimento	Será ministrada uma aula dialogada abordando o funcionamento básico de uma célula solar sensibilizada por corantes naturais a partir dos conceitos de reações de oxidação e redução. Em seguida, os alunos serão orientados durante a construção das células.
Conclusão	Testar e demonstrar o efeito da luz do Sol nas células solares aos alunos.
<b>3º MOMENTO – Formação dos grupos</b>	
Organização da turma	A turma será organizada em grupos.
Introdução	Solicitar aos alunos que formem até cinco grupos.
Desenvolvimento	Cada grupo deverá buscar outros tipos de corantes na literatura (Química Nova na Escola, Google Acadêmico e Scielo) para construção de suas próprias células solares e apresentar na forma de trabalho em grupo na aula seguinte. Os tópicos que os alunos deverão apresentar são: o que é o corante utilizado e porquê; como foi preparado o extrato do corante; explicar e demonstrar o funcionamento da célula solar com base nas



reações de oxirredução. Pode-se sugerir que tragam curiosidades sobre o corante escolhido.

Conclusão Explicar aos alunos que o trabalho deverá ser apresentado em no máximo 7 minutos.

---

#### **4º MOMENTO – Apresentação das células solares pelos alunos**

---

Organização da turma	A turma será organizada em roda.
Introdução	Explicar novamente como deverão ser realizadas as apresentações dos trabalhos.
Desenvolvimento	Exposição dos resultados dos trabalhos pelos alunos.
Conclusão	Realizar um apanhado geral das atividades desenvolvidas.
Avaliação	A avaliação será baseada na apresentação dos trabalhos pelos alunos e no empenho durante todas as atividades.

---

As frutas, folhas e flores que podem ser sugeridos para os alunos são aquelas que possuem uma coloração forte, ricas em antocianinas, como: repolho roxo, feijão, jabuticaba, buriti, jambolão, curcumina, beterraba, urucum, etc. Estes corantes podem ou não apresentar uma sensibilidade para a luz.

#### 5.6.1 Analisando a sequência didática

É possível fazer uma análise da sequência proposta levando em consideração os questionamentos estabelecidos pelo autor Zabala (1998).

- a) Conhecimentos prévios: A pergunta inicial e a apresentação do tema na forma de aula expositiva dialogada, dados no primeiro momento, instigam os alunos não apenas a reconhecer os elementos relacionados ao tema, mas também a trazer os conhecimentos, pontos de vistas e opiniões que estes possuem sobre o mesmo ao permitir que haja um diálogo entre o professor e o aluno. Desse modo, o próprio professor pode intervir e adequar aquilo que o aluno traz sempre que necessário;
- b) Significância e funcionalidade dos novos conteúdos: Apresentar a problemática de início aos alunos faz com que os novos assuntos que serão abordados tenham um sentido e uma funcionalidade. Dessa forma aquilo que os alunos irão aprender servirá como uma resposta para uma necessidade que se apresenta como a pergunta inicial;
- c) Nível de desenvolvimento: O nível de desenvolvimento do aluno pode ser percebido nos quatro momentos ao avaliar a forma como interagem com as atividades. Nesse

sentido, é necessário um cuidado do professor ao avaliar as perguntas, as conclusões apresentadas e a forma como os alunos executam as atividades, pois estas são um indicativo da compreensão do aluno a respeito das atividades;

- d) Zona de desenvolvimento proximal: É no primeiro e no segundo momentos que o professor tem o poder de intervir naquilo que os alunos já sabem, incitando e potencializando o desenvolvimento de cada um a partir do diálogo, a fim de construir o conhecimento de todos;
- e) Conflito cognitivo e atividade mental: O problema inicial apresentado no primeiro momento se qualifica como o conflito cognitivo. Em outras palavras, é a informação que não se encaixa naquilo que os alunos conhecem. É o ponto de partida ou um tipo de “pulga atrás da orelha” que é dado ao aluno. Porém, nos outros momentos há espaço para que os alunos exercitem este tipo de atividade mental ao apresentarem seus pontos de vista e opiniões, como durante os momentos de aula dialogada, na construção da célula solar e na busca por novos corantes;
- f) Atitude favorável: A problemática inicial, segundo Zabala (1998), se torna a peça-chave para o sucesso de toda a sequência didática pois é ela quem motiva o aluno nas etapas seguintes. Além disso, em se tratando de uma atividade experimental em Química que utiliza de uma temática tão presente no cotidiano, faz com que os alunos se sintam mais motivados e interessados a aprender. Como é demonstrado na literatura;
- g) Autoestima e autoconceito: Neste caso, a apresentação do trabalho em grupo se configura como a atividade que estimula a autoestima e o autoconceito visto que os alunos terão a possibilidade de testar por conta própria diferentes tipos de corantes na construção de suas próprias células solares;
- h) Aprender a aprender: A busca por materiais que podem ser utilizados como corantes, a construção da célula solar e a apresentação do trabalho explicando o funcionamento da célula construída com base nos conceitos abordados em sala de aula ajudam os alunos a construir seu conhecimento.

### 5.6.2 Relato de experiência

A proposta de sequência didática foi aplicada parcialmente com alunos do segundo ano do ensino médio de uma escola. As aulas foram realizadas dentro de cinco dias com quatro turmas com aproximadamente 40 (quarenta) alunos em cada. A execução das atividades na escola se resumiu apenas em duas etapas devido ao tempo disponibilizado em virtude das atividades da própria escola. Desse modo, as atividades desenvolvidas foram realizadas em dois

momentos: em aula teórica e em aula prática experimental. Durante a aula teórica foi notado o diferente nível de interesse e conhecimento que os alunos possuíam acerca do assunto de células solares, trazendo questionamentos plausíveis como quando perguntaram sobre os corantes utilizados na construção das células sensibilizadas por corantes “*É possível utilizar outro tipo de corante? Como o Urucum? Não seria melhor que Juçara?*” ou quando perguntado sobre o funcionamento das reações de oxirredução em uma pilha “*Se todos os elétrons do anodo acabarem o que acontece?*”. Um ponto importante a ser mencionado é que foi dito pelo professor de Química que os alunos ainda não haviam tido contato com o assunto de reações de oxidação e redução sendo este, segundo ele, um tópico a ser abordado a partir do segundo semestre. Porém, mesmo nestas condições, notou-se o esforço que alguns dos alunos empregavam para compreender aquilo que era passado. A forma como os assuntos na aula teórica fora transmitida foi baseado principalmente em analogias, buscando associar os temas com aquilo que se presumia fazer parte do cotidiano dos alunos além de buscar relacionar o assunto com as discussões que foram propostas pelos alunos em sala de aula, mantendo-se a ideia de uma “conversa”, de uma aula dialogada.

Durante a aula prática experimental foi observado um grande engajamento dos alunos onde, em sua maioria, buscavam participar de alguma forma das atividades. Mesmo os alunos que durante a aula teórica se mostravam desinteressados ou indiferentes, na aula experimental eram os mais solícitos. Toda a construção das células foi acompanhada e orientada visto que os alunos nunca haviam tido contato com um experimento do tipo. Notou-se que, mesmo com o roteiro experimental disponível, a grande maioria optou por não o seguir e se mantiveram aguardando instruções. A forma como o assunto de células solares sensibilizadas por corantes naturais foi abordada durante a aula experimental foi limitada aos conceitos de reações de oxirredução e pilhas, explicando quem são o anodo e o catodo nas células, associando com aquilo que havia sido apresentado em sala de aula. Além disso, foi apresentado para os alunos a função de cada componente na construção da célula.

**Figura 8** – Execução dos experimentos pelos alunos.



Fonte: Próprio autor.

Os alunos realizaram medidas de diferença de potencial com auxílio de um multímetro e, com parte dos alunos, foi possível realizar as medidas utilizando diretamente a luz do Sol. Já com outros alunos, as medidas foram realizadas utilizando as lanternas do celular devido às condições climáticas não favoráveis. Ainda assim, os alunos puderam constatar a influência da luz no sistema. Porém, percebeu-se um maior entusiasmo do grupo que realizou as medidas com a luz do Sol visto que a variação da diferença de potencial foi mais acentuada. Uma das alunas comentou *“As aulas assim são bem legais... eu queria que a gente tivesse mais aulas desse jeito”*. Um dos alunos perguntou se não seria possível construir uma célula maior *“Daria pra gente ligar a célula uma na outra? Tipo... juntar as bordas com as partes condutoras pra conseguir fazer uma maior?”*. Havia também aqueles que propuseram ideias de utilizar e testar outros corantes como a beterraba.

## 6 CONCLUSÃO

Diante do exposto, percebe-se que a educação brasileira vem passando por grandes transformações visando a melhoria da qualidade do ensino. Destas transformações a mais discutida atualmente é a reforma do ensino médio que propôs uma série de mudanças na forma como os estudantes se relacionam com a escola e como podem utilizar dos conhecimentos adquiridos em seu desenvolvimento pessoal e profissional. Dentro desta perspectiva, o ensino de Química na educação básica também precisou passar por transformações para se adequar às novas realidades do cotidiano do aluno. Estas transformações já vinham sendo sinalizadas há muito tempo por professores e pesquisadores da área objetivando abandonar o ensino engessado e baseado em memorização, buscando cada vez mais trazer a Química para o cotidiano do aluno. Nesse sentido, a Universidade desempenha um importante papel no aprimoramento da educação básica ao buscar meios de dialogar com a escola visando este objetivo.

O tema células solares atualmente é bastante discutido e se apresenta como uma boa forma de trabalhar conceitos de Química. Dentro das condições utilizadas, a plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara apresentou uma boa sensibilidade à luz na região do visível frente a um potencial de 0,0 V, na presença de uma molécula doadora. Além disso, os resultados obtidos ressaltam a importância da utilização de um bom mediador redox para a construção da célula solar visto que a diferença da densidade de corrente observada da plataforma FTO/TiO<sub>2</sub>/Juçara em relação a FTO/TiO<sub>2</sub> na ausência da molécula doadora era bem pequena. Os resultados da impedância eletroquímica e da curva de corrente *versus* potencial apontam também para a eficiência da polpa de juçara como agente sensibilizante ao demonstrarem os efeitos da ausência e da presença de luz no meio. Dessa forma, a partir dos dados obtidos, a polpa de juçara se apresentou como um bom agente sensibilizante para a construção de células solares sensibilizadas por corantes naturais.

As pesquisas desenvolvidas dentro da Universidade na área tecnológica, em especial na área de fotoeletroquímica, podem ser abordadas não apenas na forma de divulgação científica nas escolas, mas também podem assumir um papel de aproximar os conhecimentos que os estudantes da educação básica adquirem ao longo dos anos com as situações reais e atuais do dia a dia. A adaptação do sistema para sala de aula e a proposta de sequência didática são uma ótima forma de levar o conhecimento acumulado dentro da Universidade para a escola contribuindo assim para melhorar a educação básica brasileira.

## REFERÊNCIAS

AMADI, Lawrence; JENNY, Shaichi Sen; AHMED, Asif; BROWN, Nikia; YADAV, Sunil; BROWN, Destiny; GHANN, William; GAYRAMA, Alec; JIRU, Mintesinot; UDDIN, Jamal. Creation of Natural Dye Sensitized Solar Cell by Using Nanostructured Titanium Oxide. **Nanoscience and Nanoengineering**, v. 3, n. 3, p. 25-32, 2015. DOI 10.13189/nn.2015.030301.

ANEEL. Matrizes Renováveis/Não Renováveis. **Sistema de Informações de Geração da Aneel (SIGA)**. Disponível em: < Microsoft Power BI>. Acesso em 28 de maio de 2023.

ARENARE, Eleonora Celli Carioca. Ensino de Química nas escolas públicas de Manaus-AM: Algumas considerações. *In*: VOIGT, Carmen Lúcia (org.). **O Ensino de Química**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. v. 1, cap. 20, p. 256-269. ISBN 978-85-7247-289-0. DOI 10.22533/at.ed.890192604

ARJUNAN, T. V.; SENTHIL, T. S. Review: Dye sensitised solar cells. **Materials Technology**, [s. l.], v. 28, p. 9-14, 2013. DOI 10.1179/1753555712Y.0000000040.

ÁVILA, Simone Garcia de; MATOS, Jivaldo do Rosário. Compostos coloridos do ferro: uma proposta de experimentação utilizando materiais de baixo custo. **Educación Química**, v. 28, ed. 4, p. 254-261, 2017. DOI 10.1016/j.eq.2017.04.001.

BANG, Hee-Gon; CHUNG, Jun-Ki; JUNG, Rae-Young; PARK, Sang-Yeup. Effect of acetic acid in TiO<sub>2</sub> paste on the performance of dye-sensitized solar cells. **Ceramics international**, v. 38, p. S511-S515, 2012. DOI 10.1016/j.ceramint.2011.05.065.

BRASIL. **Conselho Nacional de Educação (CNE)**. Atualiza as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Resolução nº 3, de 21 de novembro de 2018. Brasília: Diário Oficial da União, 2018a.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **LDB**: Lei de diretrizes e bases da educação nacional. 6 ed. Brasília, DF: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2022. 60 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018b. 595 p.

BRASIL. Ministério da Educação. **Guia de Implementação do Novo Ensino Médio**. Brasília, 2018c. 72p.

CANSIAN, Ana Bárbara Moulin; MARTINS, Thiago Faria; PROFETI, Demetrius; RIBEIRO, Claudio Moises. Extração e análise espectrofotométrica de corantes naturais para aplicação em células solares sensibilizadas por corantes (DSSC). *In*: Congresso Brasileiro de Energia Solar - CBENS, VI., 2016, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: [s. n.], 2016.

CHAUI, Marilena. A universidade pública sob nova perspectiva. **Revista Brasileira de Educação**, n. 24, p. 5–15, set. 2003.

GAMA, Rayane Santos; ANDRADE, Jamille Souza; SANTANA, Erica de Jesus; SOUZA, Joana Grazielly Silva de; SANTANA, Edenilza Mendonça de. Metodologias para o ensino de química: o tradicionalismo do ensino disciplinador e a necessidade de implementação de metodologias ativas. **Scientia Naturalis**, v. 3, ed. 2, p. 898-911, 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 129 p. ISBN 978-85-97-01292-7.

GODOY, Rossana Catie Bueno de; PEREIRA, Leticia Oelke; SEOANE, Carlos Eduardo Sícoli; RETT, Henrique Tirolli. **Juçara (*Euterpe edulis M.*): importância ecológica e alimentícia**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2022. 24 p. ISSN 1980-3958; 372.

GONÇALVES, Nadia Gaiofatto. Indissociabilidade entre Ensino, Pesquisa e Extensão: um princípio necessário. **Perspectiva**, Florianópolis, v. 33, ed. 3, p. 1229-1256, 2015. DOI 10.5007/2175-795X.2015v33n3p1229.

GRÄTZEL, Michael. Photoelectrochemical cells. **Nature**, v. 414, ed. 6861, p. 338-344, 2001. DOI 10.1038/35104607.

HAGFELDT, Anders; BOSCHLOO, Gerrit; SUN, Licheng; KLOO, Lars; PETTERSSON, Henrik. Dye-Sensitized Solar Cells. **Chem. Rev.**, v. 110, n. 11, p. 6595–6663, 2010. DOI 10.1021/cr900356p.

KANT, Neeraj; SINGH, Pushpendra. Review of next generation photovoltaic solar cell technology and comparative materialistic development. **Materials today: proceedings**. v. 56, p. 3460-3470, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.11.116.

LIMA, Ariane A.; MENEZES, Natalia Pereira; SANTOS, Sthefany; AMORIM, Byanca; THOMAZI, Fabiano; ZANELLA, Fernando; HEILMANN, Armando; BURKARTER, E.; DARTORA, Cesar A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. 1-15, 2020. DOI 10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191.

LIMA, Leandro Pereira de; PINHEIRO, Elayne Bessa Ferreira; GOIS, Karlana Maria Sena; SILVA, Nívea Caroline Oliveira; SILVA, Carla Yasmin da. A utilização de produtos naturais como alternativa para o ensino de química: Uma revisão. **Research Society and Development**, v. 11, ed. 7, p. 1-13, 2022. DOI 10.33448/rsd-v11i7.29588.

LONGO, Claudia. **Estudo das propriedades morfológico-estruturais e eletroquímicas de eletrodos de SnO<sub>2</sub>**. 1998. Tese (Doutorado em Físico-Química) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. DOI:10.11606/T.46.1998.tde-29102014-124539.

LONGO, Claudia; DE PAOLI, Marco-A. Dye-Sensitized Solar Cells: A Successful Combination of Materials. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, [s. l.], v. 14, n. 6, p. 889-901, 2003. DOI 10.1590/S0103-50532003000600005.

MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais**. Paraná: Atena, 2022. 139 p. ISBN 978-65-258-0075-2. DOI 10.22533/at.ed.752221803.

MATHEUS, Carlos Eduardo Meirelles. Filosofia da Pesquisa. *In*: PERDIGÃO, Dulce Mantella; HERLINGER, Maximiliano; WHITE, Oriana Monarca (org.). **Teoria e Prática da Pesquisa Aplicada**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2011. cap. 1, p. 2-12. ISBN 978-85-352-4675-9.

MOITA, Filomena M. G. S. C.; ANDRADE, Fernando C. B. Ensino-Pesquisa-Extensão: um exercício de indissociabilidade na pós-graduação. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 41, p. 269-280, 2009. DOI: 10.1590/S1413-24782009000200006.

NASCIMENTO, Tatiane da Silva do; CARMO, Shirlene Kelly Santos; NASCIMENTO, Gilcilene Lélia Souza do; MUNIZ, Cláudia Alves de Souza; MARTINS, Mônica Paula de Sousa. Concepções da Prática de Ensino de Química em Escolas Públicas e Privadas de Ensino Médio: Estudo de Caso na Cidade de Pau dos Ferros (Rio Grande do Norte). **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 8, ed. 3, p. 121-138, 2022. DOI 10.53003/redequim.v8i3.3741.

OLIVEIRA, M. do S. P. de; OLIVEIRA, N. P. de; DOMINGUES, A. F. N.; MATTIETTO, R. de A.; TEIXEIRA, D. H. L.; FARIAS NETO, J. T. de. Euterpe oleracea e E. precatoria: açai. *In*: CORADIN, L.; CAMILLO, J.; VIEIRA, I. C. G. (ed.). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região Norte**. Brasília, DF: MMA, 2022. p. 303-323.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. DOI: 10.34024/978851700089.

RIBEIRO, Josimar. Espectroscopia de Impedância Eletroquímica: uma Ferramenta nas Investigações Eletroquímicas. **Revista Virtual de Química**. v. 2, n. 6, p. 1-16, 2020. DOI 10.21577/1984-6835.20200123.

RODRIGUES, K. K. P.; NASCIMENTO, L. O. do; SILVA, Ândello M. F. S. da; FIGUEIRÊDO, A. M. T. A. de. Aditivos alimentares: uma abordagem teórico-prática no Ensino de Química. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e40311528257, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i5.28257.

SCHENDER, Klim W. **Formação para o trabalho docente: a extensão universitária na área da educação**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Católica de Santos, Santos, SP, 2011.

SEVERINO, Antonio J. Educação e universidade: conhecimento e construção da cidadania. **Interface: Comunicação, saúde, educação**. Botucatu, SP, v. 6, n. 10, p. 117-24, fev. 2002.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2013. ISBN 978 85 249 2081 3.

SILVA, W. Pires da. EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA: Um conceito em Construção. **Revista Extensão & Sociedade**, v. 11, n. 2, p. 21-32, 2020. DOI: 10.21680/2178-6054.2020v11n2ID22491.



SMESTAD, Greg P.; GRÄTZEL, Michael. Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: A Natural Dye–Sensitized Nanocrystalline Energy Converter. **Journal of Chemical Education**, v.75, p. 752-756, 1998. DOI 10.1021/ED075P752

SONAI, Gabriela G; MELO JR, Maurício A.; NUNES, Julia H. B.; MEGIATTO JR., Jackson D.; NOGUEIRA, Ana F.. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química nova**, v. 38, ed. 10, p. 1357-1365, 2015. DOI doi.org/10.5935/0100-4042.20150148.

SOUSA, F. P. de.; PEREIRA, R. M.; PIRES, D. A. T. A experiência em docência e os obstáculos para o ensino de Química. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 3, p. e34211326417, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i3.26417.

TAUCHEN, G.; DEVECHI, C. P. V. Interações entre a universidade e a educação básica. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 11, n. esp.1, p. 527–538, 2016. DOI: 10.21723/RIAEE.v11.esp.1.p527.

TEHARE, Kailas K.; BHADKE, Priyanka K.; BHANDE, Sambhaji S.; NAVALE, Sachin T. Effect of acidic treatment on DSSC performance of TiO<sub>2</sub> nanostructures. **Applied Physics A: Materials science & processing**, v. 129, n. 413, ed. 6, 2023. DOI 10.1007/s00339-023-06693-z.

WALLACE, Taylor C; GIUSTI, M Monica. Anthocyanins. **Advances in Nutrition**, v. 6, n. 5, p. 620–622, 2015. DOI 10.3945/an.115.009233.

WANDERLEY, Luiz Eduardo W. **O que é universidade**. São Paulo: Brasiliense, 2017.

YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima; SILVA, Gerlane Martins da. Perspectivas sobre o Ensino e Aprendizagem em Química no Interior do Amazonas. **Revista Debates em Ensino de Química**, n. 3, ed. 8, p. 231-248, 2022. DOI 10.53003/redequim.v8i3.4867.

YAN, Susan G; LYON, L. Andrew; LEMON, Buford I; PREISKORN, Janice S; HUPP, Joseph T. Energy Conversion Chemistry: Mechanisms of Charge Transfer at Metal-Oxide Semiconductor/Solution Interfaces. **Journal of chemical education**, v. 74, ed. 6, p. 657-662, 1997. DOI 10.1021/ed074p657.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa: como ensinar**. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998. 206 p. ISBN 85-7307-426-4.

## APÊNDICE

### PLANO DE AULA (1º MOMENTO)

ESCOLA:

SÉRIE:

TEMA: Células solares sensibilizadas por corantes naturais

DURAÇÃO: 45 minutos

HABILIDADES: EM13CNT101, EM13CNT103, EM13CNT106 e EM13CNT309.

### PLANO DE AULA

#### CONTEÚDOS

- Fontes de energia renováveis
- Reações de oxidação e redução
- Reações de oxirredução para produção de energia

#### OBJETIVOS

Ao final da aula o aluno deverá ser capaz de:

- Conhecer os conceitos de oxidação e redução;
- Reconhecer as reações oxirredução como uma forma de produção de energia;
- Compreender a importância do sol como uma fonte de energia alternativa e sustentável.

#### METODOLOGIA

Aula expositiva dialogada.

- Introduzir a aula apresentando a imagem de um painel solar num telhado de uma casa perguntando o que eles sabem sobre os painéis solares. Tempo: 2 ~ 2:30 minutos;
- Apresentar as principais fontes de energia renováveis e os conceitos de sustentabilidade com enfoque na energia solar. Tempo: 2 ~ 2:30 minutos;
- Explicar o que é a radiação solar e como ela chega à Terra. Tempo: 1 ~ 1:30 minutos;
- Na sequência, apresentar de forma simplificada como a energia do sol pode ser aproveitada para produzir energia elétrica. Tempo: 5 ~ 5:30 minutos;
- Dentro do tópico de energia elétrica, explicar para os alunos que esta também pode ser produzida através de reações químicas. Tempo: 1 ~ 1:30 minutos;
- Explicar os conceitos de oxidação e redução e como se pode aproveitar estas reações para produção de energia elétrica. Tempo: 20 ~ 25 minutos;
- Explicar que existem alternativas aos painéis solares convencionais que vêm sendo pesquisadas, as células sensibilizadas por corantes naturais que utilizam das reações de oxirredução para produção de energia. Tempo: 1 ~ 1:30 minutos;

- Ao término da aula, revisar os conceitos apresentados e explicar de que forma será realizada a aula experimental com a construção de uma célula solar sensibilizada por juçara. Tempo: 5 minutos;

#### BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. Conecte: Química 3. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. ISBN 978-85-02-22271-7.

SONAI, Gabriela G; MELO JR, Maurício A.; NUNES, Julia H. B.; MEGIATTO JR., Jackson D.; NOGUEIRA, Ana F.. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química nova**, v. 38, ed. 10, p. 1357-1365, 2015. DOI [doi.org/10.5935/0100-4042.20150148](https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148).

MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais**. Paraná: Atena, 2022. 139 p. ISBN 978-65-258-0075-2. DOI [10.22533/at.ed.752221803](https://doi.org/10.22533/at.ed.752221803).

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. DOI: [10.34024/978851700089](https://doi.org/10.34024/978851700089).

## PLANO DE AULA (2º MOMENTO)

ESCOLA:

SÉRIE:

TEMA: Células solares sensibilizadas por corantes naturais

DURAÇÃO: 45 minutos

HABILIDADES: EM13CNT101, EM13CNT103, EM13CNT106 e EM13CNT309.

### PLANO DE AULA

#### CONTEÚDOS

- O sol como fonte de energia sustentável
- Células solares sensibilizadas por corantes

#### OBJETIVOS

Ao final da aula o aluno deverá ser capaz de:

- Empregar os conceitos abordados em sala de aula na construção de uma célula solar sensibilizada por juçara.

#### METODOLOGIA

Aula expositiva dialogada com realização de atividade prática experimental.

- Introduzir a aula expondo alguns cuidados necessários para a realização da atividade prática. Tempo: 2 ~ 2:30 minutos;
- Explicar aos alunos o funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corantes naturais apresentando os materiais que serão utilizados e a função de cada um. Tempo: 2 ~ 5 minutos;
- Dividir a turma em 2 grupos e entregar para cada um dos grupos os materiais que serão utilizados. Tempo: 1 ~ 1:30 minutos;
- Construir com os alunos as células solares seguindo as orientações do roteiro. Tempo: 15 ~ 20 minutos;
- Quando o sistema estiver pronto e montado, fazer medidas de diferença de potencial com um multímetro controlando a sua incidência da luz do Sol diretamente. Tempo: 2 ~ 5 minutos;
- Ao término da aula, solicitar que a turma forme cinco grupos e que cada grupo busque outros tipos de corantes para construção de suas próprias células solares e apresentem na forma de trabalho em grupo. Tempo: 6 minutos.

#### BIBLIOGRAFIA SUGERIDA

USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. **Conecte**: Química 3. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. ISBN 978-85-02-22271-7.

SONAI, Gabriela G; MELO JR, Maurício A.; NUNES, Julia H. B.; MEGIATTO JR., Jackson D.; NOGUEIRA, Ana F.. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química nova**, v. 38, ed. 10, p. 1357-1365, 2015. DOI [doi.org/10.5935/0100-4042.20150148](https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148).

CHRIST, Ivana de Souza; ALMEIDA, Kauana Nunes de; OLIVEIRA, Verônica Granvilla de; OLIVEIRA, Matheus Costa de; SANTOS, Marcos José Leite; ATZ, Nara Regina. Célula solar na escola: como construir uma célula solar sensibilizada por corantes naturais. **Química nova na escola**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 394-398, 2019. DOI [dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160180](https://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160180).

**PLANO DE AULA (3º MOMENTO)**

ESCOLA:

SÉRIE:

TEMA: Células solares sensibilizadas por juçara

DURAÇÃO: 45 minutos

HABILIDADES: EM13CNT101, EM13CNT103, EM13CNT106 e EM13CNT309.

**PLANO DE AULA****CONTEÚDOS**

- Células solares sensibilizadas por corantes naturais;

**OBJETIVOS**

Ao final da aula o aluno deverá ser capaz de:

- Empregar os conceitos abordados em sala de aula na construção de uma célula solar sensibilizada por diferentes corantes naturais.

**METODOLOGIA**

Apresentação dos trabalhos desenvolvidos pelos alunos.

Explicar novamente como deverão ser realizados as apresentações dos trabalhos;

Apresentação dos trabalhos desenvolvidos pelos alunos;

Ao término da aula tratar os principais tópicos que foram abordados em sala durante as aulas frisando a importância da utilização de fontes renováveis de energia.

**AValiação**

Avaliação do tipo formativa através da execução dos seminários pelos alunos.

**REFERÊNCIAS**

USBERCO, João; SALVADOR, Edgard. Conecte: Química 3. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2014. ISBN 978-85-02-22271-7.

SONAI, Gabriela G; MELO JR, Maurício A.; NUNES, Julia H. B.; MEGIATTO JR., Jackson D.; NOGUEIRA, Ana F.. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química nova**, v. 38, ed. 10, p. 1357-1365, 2015. DOI doi.org/10.5935/0100-4042.20150148.

## ROTEIRO EXPERIMENTAL

ESCOLA:

TEMA: Células solares sensibilizadas por juçara

PROFESSOR:

NÍVEL:

### CONSTRUINDO UMA CÉLULA SOLAR

#### OBJETIVOS

- Desenvolver uma célula solar sensibilizada por juçara utilizando materiais de baixo custo;
- Empregar conceitos de oxirredução para verificação do funcionamento das células construídas.

#### MATERIAIS E REAGENTES

- |   |  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Placa de vidro condutora (ITO)</li> <li>- Pipeta</li> <li>- Bastão de vidro</li> <li>- Fita crepe adesiva impermeável</li> <li>- Garras jacaré</li> <li>- Multímetro</li> <li>- Vela de parafina</li> <li>- Palitos de fósforo</li> <li>- Papel milimetrado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prendedor de papel</li> <li>- Conta gotas</li> <li>- Polpa de Juçara</li> <li>- 50 mg de Dióxido de Titânio (<math>\text{TiO}_2</math>)</li> <li>- Iodo (<math>\text{I}_2</math>)</li> <li>- Iodeto de potássio (KI)</li> <li>- Etilenoglicol</li> <li>- Ácido Acético 10%</li> </ul> |
|---|--|

#### PROCEDIMENTOS

Preparo da dispersão de  $\text{TiO}_2$

- 1 Em uma balança, pesar 50 mg de  $\text{TiO}_2$ ;
- 2 Adicionar 0,1 mL de ácido acético 10% ao  $\text{TiO}_2$  pesado;
- 3 Agitar vigorosamente o frasco e reserve.

Preparo do eletrólito (Solução de Iodeto/triiodeto)

- 1 Pesar 16,6 mg de Iodeto de Potássio;
- 2 Pesar 6,3 mg de Iodo;
- 3 Adicionar o iodeto de potássio e o iodo em 500 mL de etilenoglicol;
- 4 Homogeneizar a solução.

Construção do eletrodo negativo (fotoanodo)

- 1 Com a opção de verificação da resistência selecionada no multímetro, verificar o lado condutor encostando as duas garras na superfície da placa. Obs.: Aquela que aparecer algum valor é o lado condutor;
- 2 Utilizando o papel milimetrado e com o lado condutor do vidro voltado para cima, demarcar a placa com fita crepe deixando uma área vazia no centro em forma de quadrado com 2 cm de cada lado, mantendo as bordas do vidro livres;
- 3 Com uma pipeta, adicionar 0,1 mL da dispersão de  $\text{TiO}_2$  traçar uma linha reta na área vazia em forma de quadrado do vidro condutor, bem próximo a uma das bordas internas;
- 4 Com um bastão de vidro sobre a placa, arrastar a linha de  $\text{TiO}_2$  pela superfície da placa de vidro até completar o quadrado formando uma fina camada;
- 5 Deixar o material secar na temperatura ambiente por 5 minutos. Obs.: Não retirar a fita crepe;
- 6 Depois de seco, com um conta gotas, adicionar 10 gotas do extrato de juçara sobre o eletrodo com  $\text{TiO}_2$  e aguardar 2 minutos;
- 7 Após o tempo de espera do eletrodo com juçara, lavar cuidadosamente com água destilada sem direcionar o jato diretamente para a área quadrada;

#### Construindo o eletrodo positivo (catodo)

- 1 Com a opção de verificação da resistência selecionada no multímetro, verificar o lado condutor do eletrodo;
- 2 Acender uma vela e segurando o eletrodo com uma pinça, passar sobre o fogo o lado condutor até formar uma camada de fuligem dando um aspecto de “queimado”. Obs.: Não deixar durante muito tempo;
- 3 Utilizando o papel milimetrado, limpar a área do eletrodo deixando um quadrado de fuligem com 2 cm de cada lado;
- 4 Reservar o eletrodo.

#### Montagem da célula

- 1 Com um conta gotas, adicionar 2 gotas da solução de Iodeto e Triiodeto de potássio na placa com juçara;
- 2 Unir as duas placas de vidro (com a juçara e com a fuligem) como um sanduíche, um de frente para o outro;
- 3 Utilizar as presilhas de papel nas bordas para manter os eletrodos fixos;
- 4 Testar a célula construída diretamente na luz do sol.

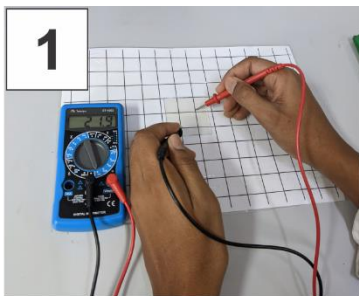


## OBSERVAÇÕES E GUIA PARA CONSTRUÇÃO DA CÉLULA SOLAR

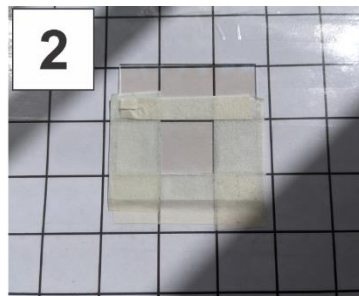
Alguns materiais podem ser substituídos para a execução das atividades:

- O dióxido de titânio pode ser adquirido em lojas online como Mercado livre;
- O ácido acético 10% pode ser substituído por vinagre comercial;
- A solução de Iodeto e Triiodeto de potássio em etilenoglicol (KI/I<sub>2</sub>) pode ser substituída por tintura de iodo (adquirido em farmácias);
- As placas de vidro condutor (ITO) podem ser adquiridas por um custo baixo em lojas online como Aliexpress;
- A polpa de juçara pode ser extraída ao se manter os frutos de molho em água morna (40 °C) por aproximadamente 1 hora, até que a polpa comece a soltar da semente. A polpa da juçara já pronta também pode ser adquirida em feiras da cidade;

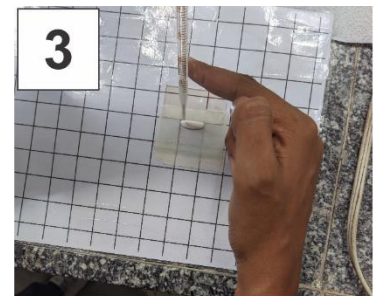
PASSO A PASSO DA MONTAGEM DAS CÉLULAS SOLARES:



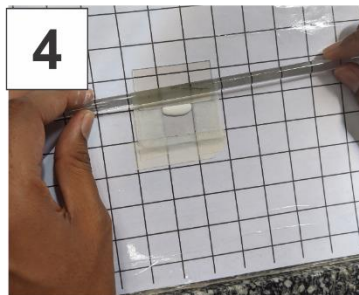
**1**  
Verificar lado condutor da placa com multímetro.



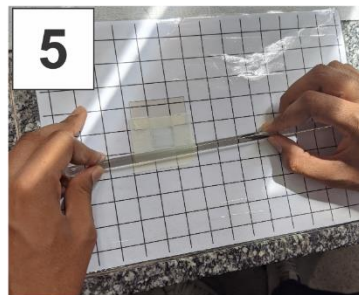
**2**  
Delimitar área de 2 x 2 cm do eletrodo com fita crepe.



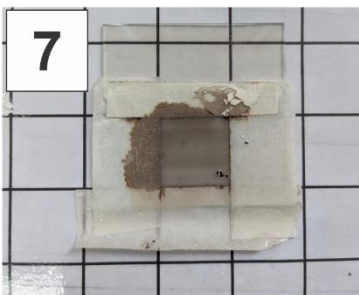
**3**  
Adicionar 100µL da dispersão de TiO<sub>2</sub>.



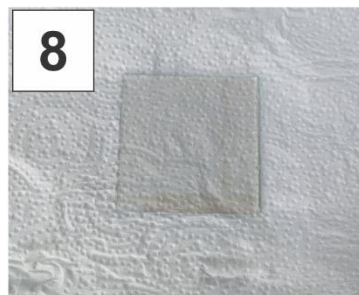
**4**  
Espalhar a pasta com um bastão de vidro com um movimento de cima para baixo duas vezes.



**6**  
Adicionar 1,5 mL da polpa de juçara e aguardar 30 min.



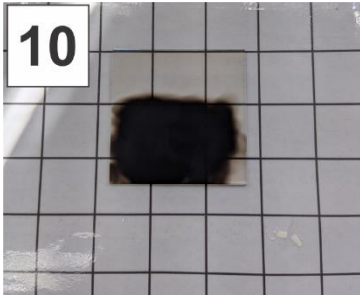
**7**  
Limpar cuidadosamente o eletrodo apenas com água.



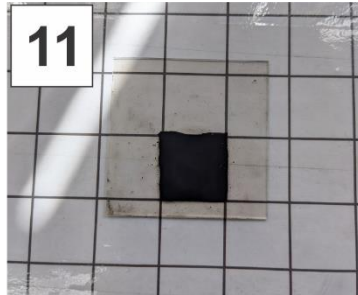
**8**  
Separar um segundo eletrodo.



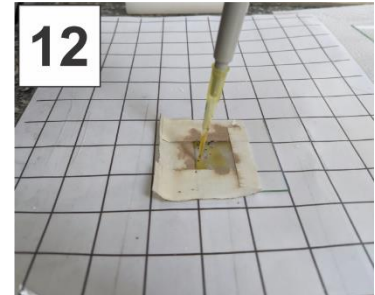
**9**  
Modificar o segundo eletrodo com a chama de vela.



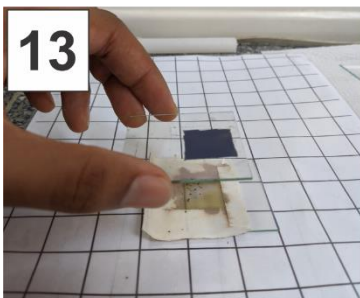
**10** Aguardar eletrodo esfriar.



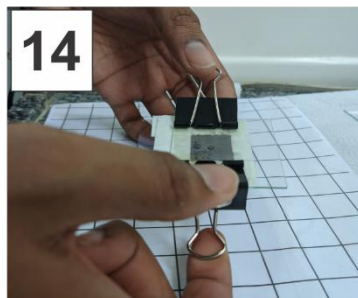
**11** Delimitar área de 2 x 2 cm com material macio.



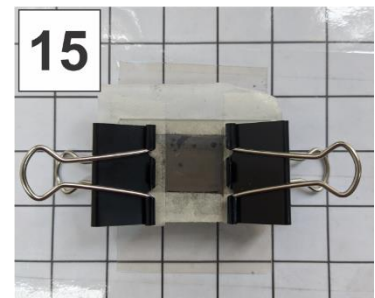
**12** Adicionar 20  $\mu\text{L}$  (ou uma gota) do eletrólito no eletrodo com juçara.



**13** Posicionar os dois eletrodos.



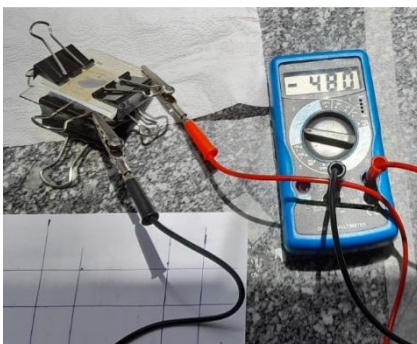
**14** Fixar os eletrodos com cliques de papel.



**15** Célula solar pronta.

As linhas demarcadas no papel possuem 2 x 2 cm de área. Esta área permite uma melhor visualização e manuseio por parte dos alunos. É importante destacar que, antes de fixar os eletrodos com clipe, é necessário deixar uma pequena borda como pode ser observado na foto número 2. Nesta borda serão conectadas as garras do multímetro.

#### REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS COM MULTÍMETRO



O fio vermelho deve ser ligado no fotoanodo e o fio preto deve ser ligado no catodo.

## MATERIAL DE APOIO

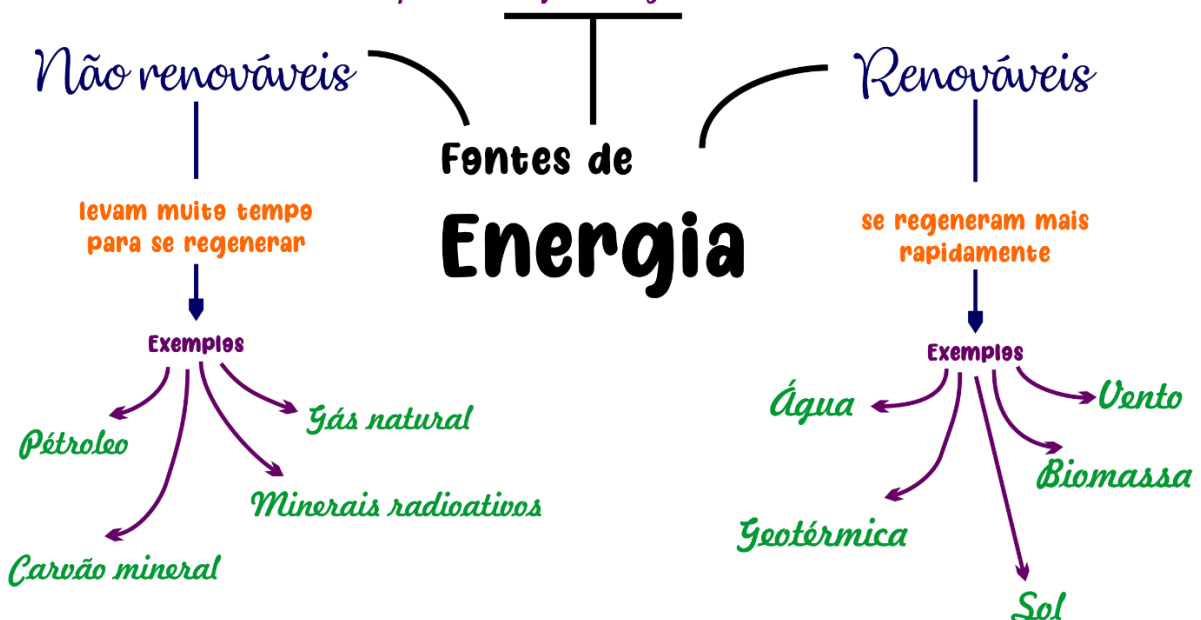
### FONTES DE ENERGIA

As fontes de energia são recursos naturais (ou não) que podemos extrair algum tipo de energia utilizável. Essas fontes podem ser classificadas em duas categorias principais: fontes de energia renováveis e fontes de energia não renováveis. As fontes de energia não renováveis são aquelas que se esgotam com o tempo e possuem um processo de reposição muito lento, como os combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e a energia nuclear. Essas fontes de energia podem ser altamente poluentes e têm impactos significativos no meio ambiente, além de possuírem uma disponibilidade limitada. Já as fontes de energia renováveis são aquelas que se regeneram naturalmente ou

são facilmente substituíveis, como a energia eólica, a energia hidrelétrica, a biomassa e a energia solar. A vantagem destas é que, mesmo trazendo algum impacto para o meio ambiente, a longo prazo, são consideradas fontes de energia sustentáveis.

Com relação a energia solar o Brasil possui um grande potencial para a geração dessa modalidade já que aqui o sol “queima mais” que em outros países onde há um maior investimento nesse ramo. Até mesmo em São Luís já é fácil encontrar uma casa que contenha um painel solar em seu telhado e a tendência é aumentar já que, hoje, é possível, até mesmo, financiar a instalação dos painéis solares.

*São recursos naturais (ou não) que podemos extrair algum tipo de energia utilizável.*



Fonte: Próprio autor.

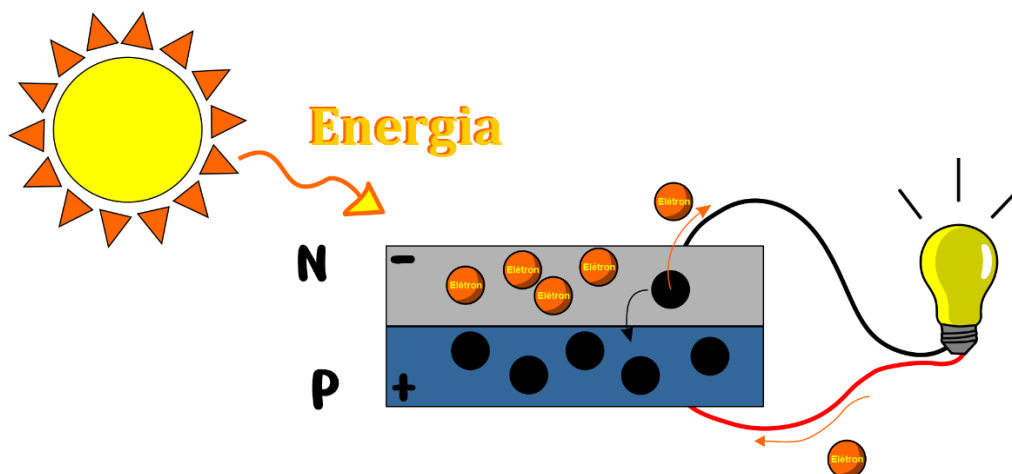
## O SOL COMO UMA FONTE DE ENERGIA

A energia solar nada mais é que a radiação que vem do Sol e chega na Terra nas formas de luz e calor. Para se ter uma ideia, a quantidade de energia que chega aqui em um ano é tão grande que poderia suprir facilmente a necessidade anual de energia do mundo em

milhares de vezes. Além disso, ela “*origina praticamente todas as outras fontes energéticas da Terra*” (MARIANO E URBANETZ JUNIOR, 2022). Porém, essa radiação, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre e vai depender da região, da estação do ano e das condições climáticas (BRASIL, 2008).

A energia do Sol pode ser aproveitada para a geração de energia elétrica a partir de painéis fotovoltaicos, popularmente chamados de painéis solares. Esses painéis são compostos por pequenas células fotovoltaicas feitas de silício que é o elemento mais abundante na Terra e tem a característica de ser um semicondutor. Na montagem dessas células são utilizados dois tipos de silício: o primeiro tem excesso de cargas negativas (lado N) e o segundo tem excesso de cargas positivas (lado P). Quando esses dois materiais são colocados juntos eles formam o que é chamado de Junção P/N e são capazes de transformar a luz em energia elétrica por meio do movimento dos elétrons, como demonstrado abaixo.

**Figura 1:** Funcionamento de uma célula solar em um painel solar.



Fonte: Adaptado de Mariano e Urbanetz Junior (2022).

A energia do Sol atinge os painéis solares através de fótons de luz, que são as partículas de energia que compõe a luz. Esses fótons fazem com que os elétrons (cargas negativas), representados pelas bolinhas cor de laranja, fiquem num estado de maior energia e se desprendam ficando “livres” para percorrer o material. Quando isso acontece, ele deixa para





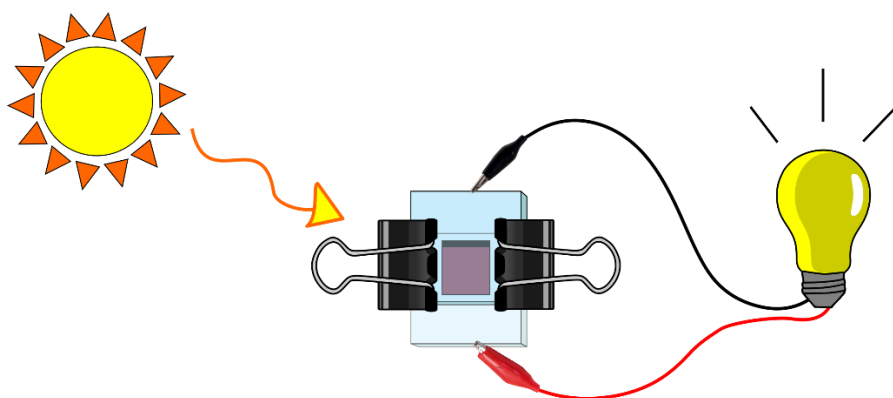
trás um espaço vazio que é chamada de lacuna. Se no material for adicionado uma lâmpada, como no exemplo, os elétrons “livres” podem percorrer pelo fio, acender a lâmpada e retornar ao sistema formando um ciclo.

## O PODER DAS PLANTAS

Além das células solares convencionais, que fazem parte da primeira geração de células solares, existem as células de terceira geração que podem ser construídas utilizando um **corante natural** (frutas coloridas) que é chamado de sensibilizador, um material **semicondutor** como o Dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$  – muito utilizado na fabricação de tintas brancas e protetores solares), um eletrólito contendo um **mediador redox** como uma solução de lugol (adquirido em farmácias), dois **eletrodos de vidro** transparente com uma camada condutora (muito utilizados nas telas de celulares e possibilitam o funcionamento do touchscreen) e um **material condutor** como o grafite (encontrado em lápis) ou fuligem (queima de vela). O corante natural pode ser extraído de folhas, flores, caules e frutas que contenham compostos capazes de absorver a luz. Um dos compostos mais comuns são as chamadas antocianinas que são responsáveis por diversas cores nas plantas como azul, roxo, violeta, magenta, vermelho e laranja e têm grande importância na dieta humana para a prevenção de doenças no coração (Damodaran et al, 2010).

O funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corantes naturais (Figura 1) é parecido com a fotossíntese que as plantas fazem, que também envolve a absorção de luz por um corante chamado de clorofila (que dá a cor verde às plantas) (SONAI *et al*, 2015). Na montagem de uma célula desse tipo, os eletrodos são colocados com os lados condutores um de frente ao outro e são mantidos fixos com algum tipo de material. Entre os eletrodos é adicionado uma solução chamada de eletrólito, contendo um mediador redox, que permite aos elétrons fluírem mais facilmente.

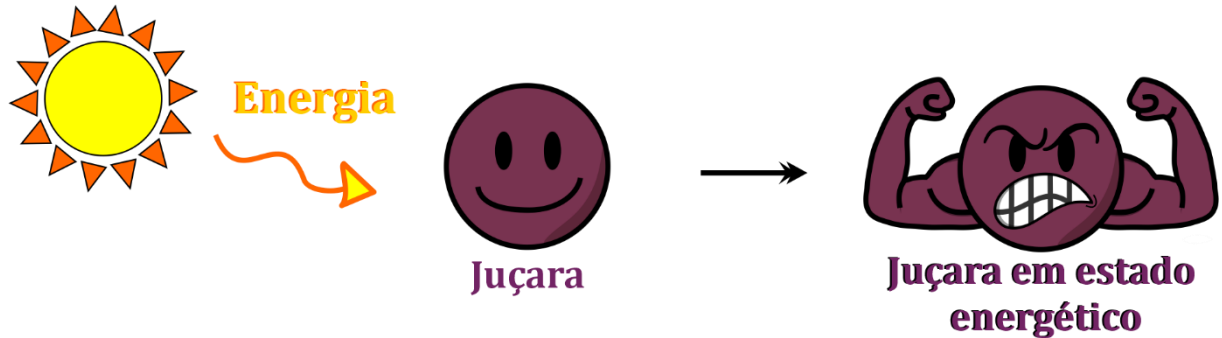
**Figura 2:** Esquema da célula solar montada.



Fonte: Próprio autor.

Quando a luz incide no sistema podem acontecer um conjunto de reações de forma muito rápida, mas que serão simplificadas aqui a fim de melhorar o entendimento. Ao todo são pelo menos 5 etapas que vêm sendo apresentadas abaixo:

**Etapa 1:** Absorção da luz do sol pelo corante natural.



Fonte: Próprio autor.

Como foi dito, a luz do sol é fonte de energia e muitos corantes naturais, assim como a juçara, têm a capacidade de absorver essa energia e ir para um estado mais energético.

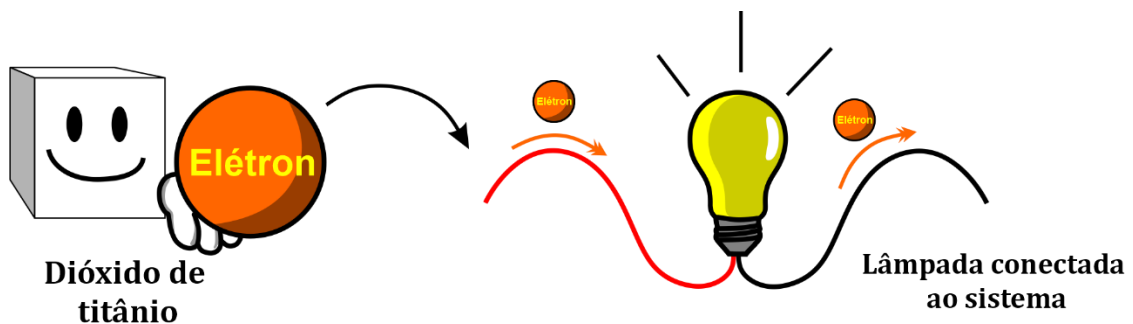
**Etapa 2:** Transferência de elétrons do corante natural para o dióxido de titânio.



Fonte: Próprio autor.

Para se desfazer do excesso de energia, o corante natural (nesse caso a juçara) poderia transferir elétrons para o  $\text{TiO}_2$  (dióxido de titânio) e por conta disso, sofrer oxidação (perda de elétrons).

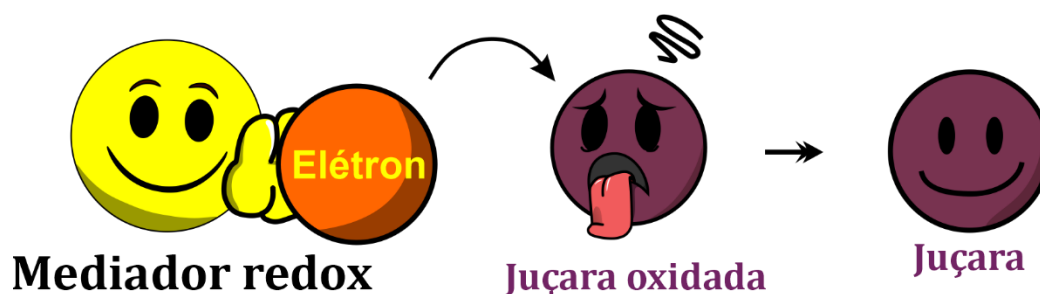
**Etapa 3:** Os elétrons são conduzidos da fiação para a lâmpada.



Fonte: Próprio autor.

O dióxido de titânio poderia conduzir os elétrons que recebeu do corante para a fiação que está conectada à uma lâmpada e esta poderá acender.

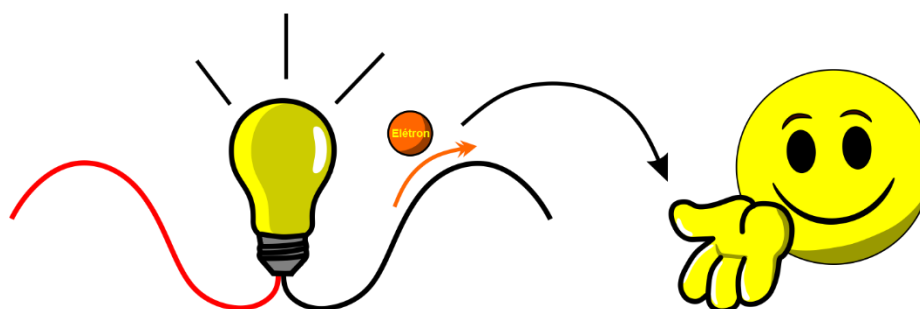
**Etapa 4:** Transferência de elétrons do mediador redox para o corante.



Fonte: Próprio autor.

Então o mediador redox, presente no eletrólito, é capaz de transferir elétrons para o corante fazendo com que ele seja regenerado. Em outras palavras, o corante irá sofrer redução (ganho de elétrons).

**Etapa 5:** Regeneração do mediador redox.



Fonte: Próprio autor.

Quando os elétrons passam pela lâmpada, eles retornam ao sistema pelo outro lado, ou seja, pelo eletrodo com fuligem de vela (por exemplo) e são transferidos ao mediador redox. Depois disso o sistema volta ao “estado inicial” e pode reiniciar todo o ciclo.

Nota: Reações de oxidação e redução envolvem a transferência de elétrons de uma espécie química para outra. Quando há um ganho de elétrons diz-se que houve uma redução e quando a perda de elétrons, diz-se que houve uma oxidação. Essas reações sempre vão acontecer juntas, ou seja, se alguém ganhou elétrons alguém teve que perder.

## REFERÊNCIAS

MARIANO, Juliana D'Angela; URBANETZ JUNIOR, Jair. **Energia solar fotovoltaica: princípios fundamentais**. Paraná: Atena, 2022. 139 p. ISBN 978-65-258-0075-2. DOI 10.22533/at.ed.752221803.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p. ISBN 978-85-87491-10-7.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes de; RÚTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna de; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, ; Silvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves de. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. ISBN 9788517000898. DOI 10.34024/978851700089.

SONAI, Gabriela G.; MELO Jr., Maurício A.; NUNES, Julia H. B.; MEGIATTO JR., Jackson D.; NOGUEIRA, Ana F.. Células solares sensibilizadas por corantes naturais: um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação. **Química nova**, v. 38, ed. 10, p. 1357-1365, 2015. DOI 10.5935/0100-4042.20150148.

CHRIST, Ivana de Souza; ALMEIDA, Kauana Nunes de; OLIVEIRA, Verônica Granvilla de; OLIVEIRA, Matheus Costa de; SANTOS, Marcos José Leite; ATZ, Nara Regina. Célula solar na escola: como construir uma célula solar sensibilizada por corantes naturais. **Química nova na escola**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. 394-398, 2019. DOI 10.21577/0104-8899.20160180.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.; FENNEMA, Owen R. **Química de alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 890 p. ISBN 978-85-363-2334-3.

Calazans, Davi. Como Energia Solar é Convertida em Eletricidade?. YouTube, 28 jun. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TCQhdAHOSIk>. Acesso em: 29 de abril de 2023.