



## DESENVOLVIMENTO DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTE DE HIBISCO (*Hibiscus Sabdariffa*).

Amanda Leandro Araújo  
Julia Felipe Dias  
Melissa Vitória Neto Fernandes  
Thaís Leandro Rocha  
Orientador Prof.º Dr. Alexandre De Jesus Barros

### RESUMO

Células solares sensibilizadas com corantes têm se apresentado como uma alternativa promissora de energia vista a necessidade de fontes que visam diminuir a poluição emitida, reduzindo assim, os impactos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de células solares sensibilizadas com corante natural de Hibisco (*Hibiscus Sabdariffa*) aplicando metodologias focadas em minimizar a geração de resíduos poluentes. Foram produzidas 4 células fotovoltaicas utilizando dois substratos de vidro sinterizados com solução precursora de  $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ , estas foram aplicadas como contraeletrodo e fotoânodo, sensibilizados por grafite e corante de Hibisco e  $\text{TiO}_2$ , respectivamente. Por meio da caracterização eletroquímica tornou-se possível a determinação da resistividade e condutividade das placas desenvolvidas. Estas atingiram voltagem média de 441mV o que mostra efetividade das metodologias empregadas e da prática desenvolvida.

**Palavras-chave:** Células solares. Hibisco. Energia.

### ABSTRACT

Dye-sensitized solar cells have been presented as a promising energy alternative, given the need for sources that aim to reduce emitted pollution, thus reducing environmental impacts. The present work has as its objective the development of solar cells sensitized with the natural dye of Hibiscus (*Hibiscus Sabdariffa*) applying methodologies focused on minimizing the generation of polluting residues. Four photovoltaic cells were produced using two sintered glass substrates with a precursor solution of  $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ , these were applied as counter electrode and photoanode, sensitized by graphite, Hibiscus and  $\text{TiO}_2$  dye, respectively. Through electrochemical characterization, it was possible to determine the resistivity and conductivity of the developed cells. These reached an average voltage of 441mV, this shows the effectiveness of the methodologies employed and the practice developed.

**Keywords:** Solar cells. Hibiscus. Energy.

1 Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina  
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil  
\* grupo7tcetecia@gmail.com

Recebido em: 30/06/2022  
Apresentado à banca em: 22/06/2022

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os sérios problemas que a humanidade enfrenta atualmente estão a crise climática e a poluição atmosférica, os quais estão ligados, entre outros fatores, à geração de energia elétrica por determinadas fontes. A emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono, o metano e o óxido nitroso, aumentam a temperatura média do planeta, agravando os efeitos da crise climática. Os poluentes atmosféricos associados a este tipo de emissão são materiais particulados, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, monóxido de carbono e metais pesados, (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2016) os quais são prejudiciais à saúde humana tornando-se um problema de saúde pública, causando diversos tipos de doenças, tanto no sistema respiratório, quanto no sistema cardiovascular.

Atualmente, diversos estados encontram-se em escassez hídrica pela falta de chuvas, fato esse que afeta a geração de energia elétrica. Além de que é possível apontar a crise nos reservatórios que geram as bandeiras tarifárias na conta de luz e ativação de usinas termoeletricas. (SANT'ANA, 2021). Enquanto isso, segundo o Banco Mundial, mais de 800 milhões de pessoas no mundo não têm acesso à energia elétrica e esse é o sétimo dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela ONU para serem alcançados até 2030 (AGÊNCIA EFE, 2019).

Ademais, as projeções de consumo de energia em 2050 são de aumento de aproximadamente 50% comparado ao consumo de 2019. Portanto surge o questionamento, como promover o acesso das populações mais pobres à energia elétrica e atender a demanda futura sem piorar a crise climática, a poluição atmosférica e a degradação do meio ambiente? Uma das saídas é com outras fontes de energia, que sejam renováveis e limpas.

### 1.1. ENERGIA LIMPA

As fontes de energia limpa são fontes de energia renováveis que visam não causar danos à natureza, além de diminuir a quantidade da emissão de gases poluentes na atmosfera (PORTALSOLAR, 2021). Este tipo de energia vem se popularizando no Brasil a fim de substituir as fontes de energia não renováveis que agravam o desequilíbrio ambiental

Uma fonte de energia renovável e limpa é a transformação de energia solar em energia elétrica através de painéis solares fotovoltaicos que convertem a energia do sol diretamente em eletricidade (MATTEDE, 2021). Este painel produz energia quando partículas de luz solar chamadas

fótons colidem com átomos desses materiais, provocando o deslocamento dos elétrons e gerando corrente elétrica.

Existem vários modelos de painéis fotovoltaicos, mas atualmente, o mais utilizado é o desenvolvido com base no silício, devido a fatores como sua eficiência, que é por volta de 20%, disponibilidade (o silício é um elemento abundante) e seu tempo de mercado. Para o desenvolvimento das placas fotovoltaicas, o silício é empregado nas formas mono e policristalina, esta última é a que possui maior eficiência (REDDY et al., 2014).

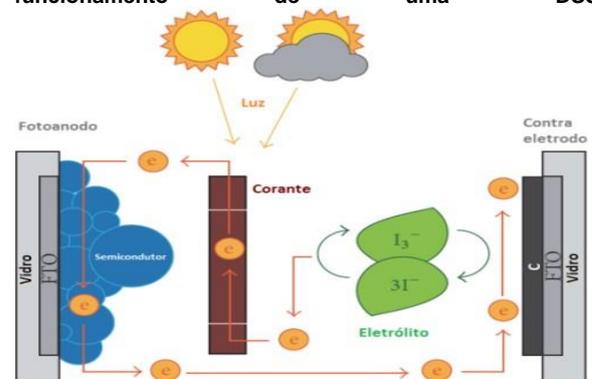
Apesar de ser uma matéria-prima grandemente utilizada no mercado, a aplicação do silício apresenta alguns problemas como o custo e os danos ambientais (ROVIRA, 2012). A obtenção em forma policristalina requer uma alta quantidade de energia, além de gerar correntes residuais, ou seja, a apresentação de matérias-primas alternativas faz-se necessária (ROVIRA, 2012).

### 1.2. CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR CORANTE

A DSSC (dye-sensitized solar cell) célula sensibilizada por corante, é um dispositivo fotovoltaico baseado em semicondutores que absorvem radiação solar e convertem em energia elétrica (GOETZKE, 2019). A DSSC é uma tecnologia a favor do meio ambiente.

O funcionamento de uma DSSC pode ser comparado ao processo de fotossíntese, visto que como o processo natural também envolve a absorção da luz solar por um corante. (SONAI et al., 2015). Na DSSC, o corante, retirado da natureza, absorve luz, e no estado excitado é capaz de transferir elétrons para a banda de condução das células solares de óxido de titânio IV (SONAI et al., 2015). O sistema opera como uma célula regenerativa que converte luz em eletricidade, com esquema de funcionamento apresentado na Figura 1.

Figura1. Representação esquemática do funcionamento de uma DSSC.



FONTE: (GOETZKE, 2019)

As substituições dos corantes sintéticos pelos corantes naturais apresentam um modo eficaz e acessível para a conversão de energia

solar em energia elétrica e minimiza o uso de materiais tóxicos preservando o meio ambiente.

Para a produção dessa célula é possível utilizar diversos tipos de corantes naturais como, por exemplo, os extraídos dos carotenoides, das betalaínas e das antocianinas, que são alguns dos principais compostos responsáveis pelos processos de transferência e geração de carga (SONAI et al., 2015).

### 1.3. HIBISCO

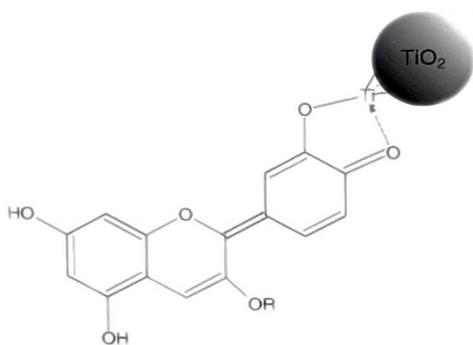
Conhecido popularmente como Hibisco, o *Hibiscus sabdariffa* é rico em antocianinas, betacaroteno, licopeno e vitamina C. (Maciel, 2011). Ele é utilizado mundialmente para a produção de bebidas, alimentos, antioxidantes e conservantes. Possui propriedades redutoras de colesterol e hipertensão.

Também conhecido como roselle, o hibisco é ideal para países em desenvolvimento, pois seu cultivo é simples e fácil. Na China, as sementes são utilizadas para produção de óleo, enquanto na África Ocidental as folhas e sementes em pó são usadas nas refeições. (ROCHA et al., 2013).

Ao se combinar o corante a camada do semicondutor permite-se uma maior faixa de absorção no UV, infravermelho e visível. Devido a interação da ligação das antocianinas e betacarotenos, com a superfície do semicondutor, facilita-se a injeção de elétrons. (FEITOSA, 2011).

Desse modo, a aplicação do pigmento extraído do hibisco, como corante sensibilizador, é uma maneira de substituir os corantes sintéticos, por uma opção livre de materiais tóxicos ao meio ambiente.

**Figura2. Representação da ligação química da molécula básica da antocianina com a partícula de TiO<sub>2</sub>**



FONTE: (HAO et al., 2006)

### 1.4. ÓXIDO DE TITÂNIO IV E ÓXIDO DE ESTANHO IV

O óxido de estanho IV (SnO<sub>2</sub>), cuja fórmula molecular elementar é Sn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ou 2xSnO<sub>2</sub>, é um

composto iônico de estrutura cristalina que conta com dois átomos de estanho e quatro átomos de oxigênio (SILVA, 2013)

Quando em forma de um filme fino, o SnO<sub>2</sub> se categoriza como um TCO (Óxido, Transparente e Condutor) pois apresenta boa condutividade elétrica, além de boa transparência à radiação visível mediante dopagem correta e adequada ((LIMA, 2013), e alta estabilidade térmica (MACIEL, et al, 2003).

Uma boa opção para a dopagem do óxido de estanho é o Flúor (F), visto que este elemento apresenta raio iônico semelhante ao do oxigênio, presente no composto, assim substituindo-o. (VINCENT, et al. 1972).

O óxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) é um elemento com ampla aplicação em dispositivos como células solares e fotocatalisadores (JIANG et al., 2004), Além de seu uso cotidiano como pigmento em tintas, plásticos, papéis e alimentos, por apresentar coloração branca e opaca (BREVE, 2014).

A aplicação do TiO<sub>2</sub> é vantajosa e viável, uma vez que este composto não apresenta toxicidade, é biocompatível, de baixo custo e conta com uma alta atividade fotovoltaica (QIU, ZHANG, ZHAO, 2011). É um semicondutor do tipo n e polimorfo, podendo ser encontrado em suas fases anatase, bruquita e rutila. (QIU, ZHANG, ZHAO, 2011)

O TiO<sub>2</sub> e o SnO<sub>2</sub> apresentam estruturas eletrônicas e gaps de energia diferentes, o que faz com que suas propriedades relacionadas a absorção e luz sejam diferentes (ZAKRZEWSKA et al., 2005)

A junção destes dois óxidos apresenta resultados eficientes em relação à melhora da atividade fotocatalítica do TiO<sub>2</sub> (BREVE, 2014), sendo assim, é uma boa opção para a construção de células fotovoltaicas a fim de aumentar as taxas de absorção.

## 2 METODOLOGIA

Nesse item constam todos os materiais e procedimentos, utilizados no trabalho.

### 2.1. MATERIAIS

Nesse trabalho foram utilizados os reagentes a seguir, apresentados junto de seus respectivos fornecedores: Ácido clorídrico P.A. (Synth); Ácido ascórbico (Neon); Álcool isopropílico (ECIBRA); Cloreto de estanho (II) di-hidratado (Synth), Óxido de Titânio IV (Etecia – Embalagem própria); Fluoreto de amônio (CAAL); Iodo (Merck); Iodeto de potássio (Synth); Ácido Nítrico.

Nas etapas foram utilizados os seguintes equipamentos: Balança analítica modelo AG200, marca Gehaka®; Forno mufla, marca Quimis®; multímetro (Brasfort), Agitador magnético, marca IKA® Color Squid; Espectrofotômetro UV/Visível modelo NI-1600 UV, marca Nova Instruments®.

Para a realização dos procedimentos foram utilizados os seguintes materiais: Fita adesiva Scotch Magic Tape® (3M); Grafite em pó (EMAVI), Lápis 6B (Faber Castell), LED 1V (Eletrônica Elementar) Prendedores de metal/papel (CIS); Substratos de vidro (Vidraçaria Souza), Lâmpada de 9W (Kian).

## 2.2. MÉTODOS

### 2.2.1. EXTRAÇÃO DO CORANTE

O método utilizado foi determinado seguindo a metodologia descrita por Tractz et al., (2018), adaptada a este trabalho.

Foram pesados aproximadamente 10 g de hibisco desidratado, misturados a 100 mL de água acidificada com ácido ascórbico a 0,5%, à 90 °C. Para melhor proveito, a mistura permaneceu em repouso por 15 minutos. Após esse período, o extrato foi submetido a filtração simples.

A solução foi armazenada em frasco âmbar, e permaneceu a temperatura de 5 °C até utilização.

### 2.2.2. DETERMINAÇÃO DO COMPRIMENTO DE ONDA DE MÁXIMA ABSORÇÃO

A fim de se obter a curva de exploração do corante de hibisco extraído, preparou-se uma diluição corante:água (1:9) A leitura foi realizada em uma cubeta de poliestireno com 1 cm de caminho óptico.

### 2.2.3. DESENVOLVIMENTO DAS CÉLULAS SOLARES.

No trabalho foram desenvolvidas 4 células solares, feitas a partir de substratos de vidro com dimensões 4x4 cm, 2,5 mm de espessura e com área de ativação de 1x2 cm.

### 2.2.4. LIMPEZA DOS SUBSTRATOS DE VIDRO

A limpeza dos substratos de vidro foi baseada no artigo de Sonai et al., (2015). A etapa foi adaptada e realizada antes do processo de preparo do vidro condutor.

Com a ajuda de uma pinça metálica, os substratos de vidro foram mergulhados

individualmente em um béquer de 100 mL, contendo uma solução de detergente neutro. Em seguida, com a ajuda de uma pisseta, os vidros foram lavados com água destilada e submersos em um béquer de 250 mL, contendo 200 mL de água destilada fervente, onde permaneceram por 30 minutos. Após esta etapa, foram retirados desse meio, resfriados, e lavados com álcool isopropílico. Após a secagem ao ar, foram colocados em uma caixa de vidro coberta por filme PVC e armazenada ao abrigo da luz.

### 2.2.5. PREPARO DO VIDRO CONDUTOR COM UTILIZAÇÃO DE CLORETO DE ESTANHO E FLUORETO DE AMÔNIO.

Os métodos aplicados para o preparo do vidro condutor consistiram em adaptações baseadas nas metodologias descritas por Lima (2013) e Queiroz (2015).

De início, preparou-se a solução precursora responsável pela caracterização dos substratos como semicondutores. Para tal, pesou-se 10,4 g de  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  em um béquer de 50mL e adicionou-se 25 mL de HCL P.A, tendo uma solução 1,84 mol.L<sup>-1</sup>. Esta solução foi submetida à agitação magnética por 5 minutos a 60 °C. Simultaneamente, preparou-se a solução do material dopante ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) onde foram pesados 1,67 g do sal e usado como solvente água destilada, obtendo 25 mL de solução a 1,8 mol.L<sup>-1</sup>. Após a solução de  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  atingir temperatura ambiente, esta foi vertida sobre a solução de  $\text{NH}_4\text{F}$ .

A aplicação da solução precursora nos substratos foi realizada pelo método de spray pirólise, onde os substratos foram postos em cápsulas de evaporação e levados à mufla aquecida a 400 °C. Visando o equilíbrio termodinâmico dos vidros, aguardou-se 15 minutos e após este tempo a temperatura foi elevada para 450 °C. Simultaneamente, a solução precursora foi levada a aquecimento por banho maria a 90 °C

Ao atingir a temperatura programada, a capsula de evaporação contendo as placas de vidro foi levado à capela de exaustão para a aplicação da solução precursora através de um spray de plástico, com capacidade para 15 ml, a uma distância de 30 cm. A aplicação foi feita em 4 repetições com 3 segundos de intervalo entre elas, e os vidros levados novamente a mufla a 450 °C, por 2 minutos. Este procedimento foi realizado 5 vezes e ao final os vidros foram mantidos dentro da mufla por 24 horas para resfriamento até temperatura ambiente.

### 2.2.6. CARACTERIZAÇÃO DO VIDRO CONDUTOR

O método utilizado para medição de resistência elétrica do vidro condutor foi baseado na metodologia descrita por Goetzke, 2019.

Após o processo de sinterização, foi medida a resistência elétrica do vidro condutor a fim de identificar a existência de corrente elétrica em um dos lados da placa. Para isso, foi utilizado um multímetro digital medindo em 2000K diferentes pontos do substrato.

### 2.2.7. FOTOÂNODO DE TiO<sub>2</sub>

Para o preparo do fotoânodo de TiO<sub>2</sub> foram utilizadas as metodologias descritas por Siopa (2015) e por Laura (2017), adaptadas de acordo com as necessidades deste trabalho.

Para remover sinais de sujeira e gordura, realizou-se novamente a limpeza dos vidros. Estes foram imersos em um béquer de 250 mL contendo água destilada e detergente por 20 minutos. Após este tempo, foi feito o enxágue com água destilada e álcool isopropílico na sequência, a fim de evitar quaisquer resquícios de água, foram aguardados 5 minutos para secagem natural.

Após a limpeza, foi feita a isolação da área de ativação dos vidros condutores através da aplicação de fita adesiva nas duas laterais.

Seguiu-se para o preparo da pasta de TiO<sub>2</sub>, na qual foram pesados 3 gramas desse óxido e adicionados 4,5 mL de HNO<sub>3</sub> 1mol.L<sup>-1</sup>, com auxílio do almofariz e pistilo macerou-se a mistura a fim de promover uma pasta homogênea, sem nenhum vestígio de grânulo, e por fim, foram adicionados aos poucos 2 mL de água destilada e 3 gotas de detergente neutro, para assegurar a uniformidade e a adesão do filme após a deposição no substrato de vidro.

Coletou-se 1 mL da pasta de TiO<sub>2</sub> que foi aplicado no vidro com auxílio de uma pipeta pasteur e espalhado com uma bagueta até cobertura fina e uniforme da área isolada (Método Doctor Blade). Após 5 minutos os substratos foram levados à mufla a 450 °C por 30 minutos, após este tempo a mufla foi desligada com os vidros mantidos em seu interior por 24 horas, a fim de evitar possível choque térmico.

### 2.2.8. SENSIBILIZAÇÃO DO FOTOÂNODO COM CORANTE DE HIBISCO

A metodologia utilizada para a sensibilização do filme de TiO<sub>2</sub> foi baseada na metodologia de Sonai et al., (2015)

O fotoânodo foi colocado em um béquer. Posteriormente, adicionou-se a solução de corante de hibisco em quantidade suficiente para cobrir o

filme de TiO<sub>2</sub>. Este foi retirado do sistema após aproximadamente 3 horas, seguido da lavagem com álcool etílico.

### 2.2.9. PREPARO DO CONTRAELETRODO DE GRÁFITE

A metodologia utilizada para este procedimento está baseada nos métodos de Grätzel e Smestad (1998) e O'Regan e Grätzel (1991) adaptada para este trabalho.

Para esta etapa foi utilizado o grafite em pó que logo foi substituído pelo grafite de um lápis 6B o qual mostrou-se mais eficiente, aplicado diretamente no substrato por fricção, com o objetivo de formar uma fina camada de carbono sob a placa demarcada com fita adesiva. As fitas laterais foram retiradas e as placas foram levadas a mufla à 450 °C por 30 minutos. A mufla foi posteriormente desligada e as placas permaneceram em seu interior até temperatura ambiente.

### 2.2.10. PREPARO DO ELETRÓLITO POLIMÉRICO EM GEL

A metodologia aplicada foi baseada na metodologia descrita por Abdulkarim et al. (2017).

Foram dissolvidos 0,2507 g de Flogel (polímero gelificante) em 8 mL de água, deixando sob agitação magnética durante 10 minutos para ser adicionado à solução em outro momento. Para o preparo das soluções de KI 1 mol.L<sup>-1</sup> e I<sub>2</sub> 0,1 mol.L<sup>-1</sup> foram adicionados 4,410 g do iodeto de Potássio e 0,6238 g do iodo em 25 mL de etilenoglicol, que foram em seguida homogeneizados em agitação magnética durante 20 minutos. Após a solução ser homogeneizada foi adicionado o Flogel hidratado, deixando em agitação magnética por um período de 2 horas. Após este processo a solução foi armazenada em um frasco âmbar em abrigo da luz por 24 horas.

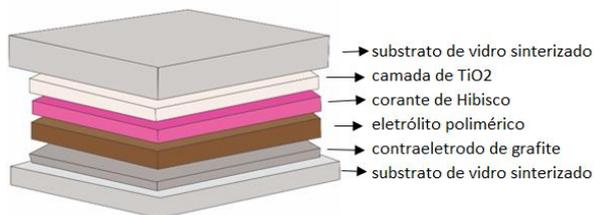
Após esse tempo, a fim de ajustar a viscosidade, preparou-se uma nova solução, utilizando 0,1564 g de Flogel e 5 mL de água. Essa solução foi adicionada à 3,5 mL da solução de triodeto preparada, até homogeneização total. Após o processo a solução final ficou em repouso por 20 minutos e em seguida foi armazenada em frasco âmbar, ao abrigo da luz e em temperatura ambiente.

### 2.2.11. MONTAGEM DA CÉLULA SOLAR

A metodologia utilizada para a realização desta etapa foi baseada no trabalho de Grätzel (2004).

A montagem do dispositivo consistiu na junção do lado da placa que possuía o grafite (cátodo) com o lado que possuía a pasta de TiO<sub>2</sub> (ânodo). Para garantir os polos positivo e negativo da célula foi preciso que uma das extremidades da placa não entrasse em contato direto com a outra, portanto foi aplicado o eletrólito polimérico em gel entre os substratos, como mostrado na figura 3

Figura 3. Representação das camadas da célula.



. Por fim, a célula foi fechada utilizando prendedores de metal.

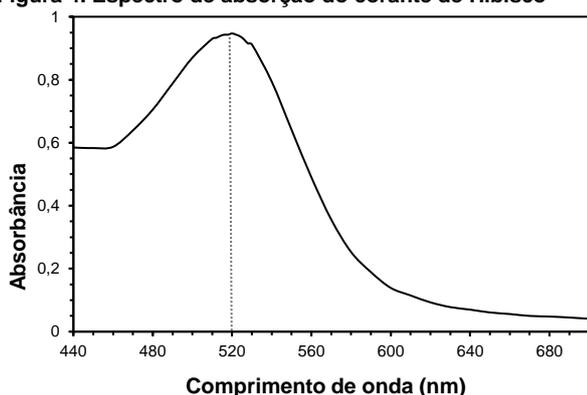
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. CURVA EXPLORATÓRIA DO CORANTE DE HIBISCO

Visto a importância da análise do comprimento de onda de maior absorção do corante extraído, com o auxílio do espectrofotômetro foi possível a obtenção do perfil espectrofotométrico deste na faixa UV-VIS.

Conforme apresentado na figura 4, pôde-se perceber a maior absorção na região de 520nm, demonstrando o potencial do corante de Hibisco como corante sensibilizador das placas desenvolvidas.

Figura 4. Espectro de absorção do corante de Hibisco



#### 3.2. SUBSTRATOS DE VIDRO SEMICONDUTORES

Através das leituras realizadas em pontos determinados dos substratos (como mostra a figura 5.), foi possível a confirmação da existência de corrente, visto que estes apresentaram resistência

variável entre 110 a 450kΩ, como mostra a figura 6.

Figura 5. Pontos de medição do substrato.

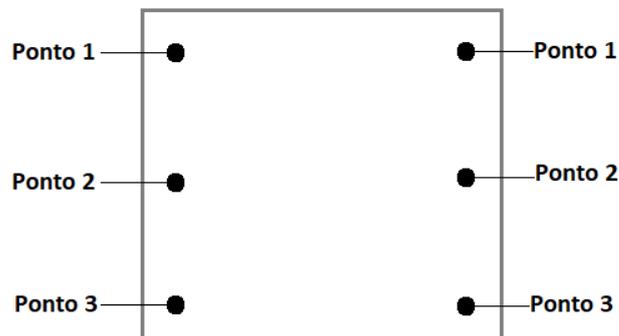


Figura 6. Tabela indicativa das resistividades lidas através do multímetro digital

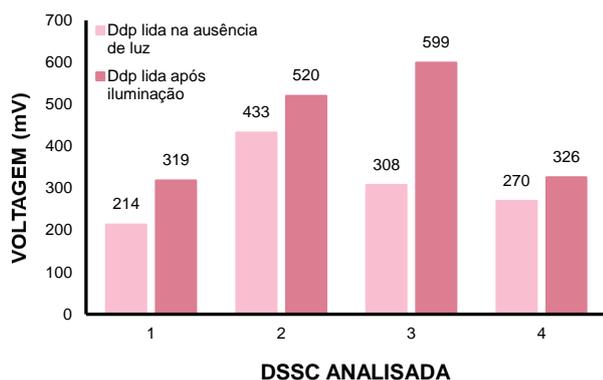
Nº do substrato utilizado	Medição no ponto 1	Medição no ponto 2	Medição no ponto 3
2	290 kΩ	205 kΩ	110 kΩ
3	230 kΩ	170 kΩ	450 kΩ
4	130 kΩ	358 kΩ	294 kΩ
6	150 kΩ	153 kΩ	134 kΩ
7	395 kΩ	227 kΩ	355 kΩ
8	328 kΩ	362 kΩ	249 kΩ
9	190 kΩ	216 kΩ	315 kΩ
11	365 kΩ	289 kΩ	368 kΩ

#### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DAS DSSCS

A caracterização das células DSSC deu-se a partir da obtenção da voltagem das placas (ddp) lida sem estímulo de luz, e lida após exposição a uma lâmpada de 9W em uma distância de 3 cm. A energia convertida pela célula foi liberada por aproximadamente 20 minutos, assim apresentando efetividade em seu aspecto fotovoltaico.

Após obtida a voltagem atingida pelas DSSCs, foi possível analisar a eficiência das 4 placas desenvolvidas e o aumento de suas voltagens após a exposição de luz, conforme representado na figura 7.

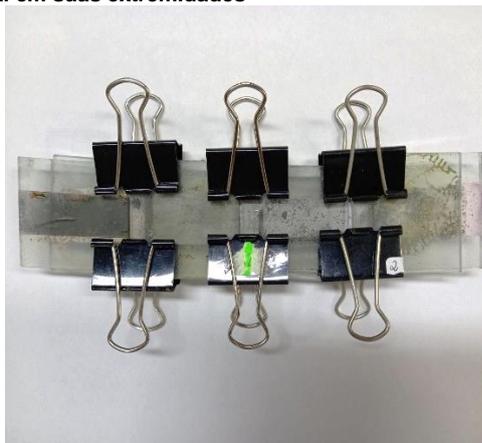
Figura 7. Gráfico comparativo das 4 DSSCs com e sem exposição à lâmpada de 9W.



Após a leitura individual das placas, testou-se uma maneira de agrupá-las de modo a se obter uma voltagem total para todas as células, conforme figura 8.

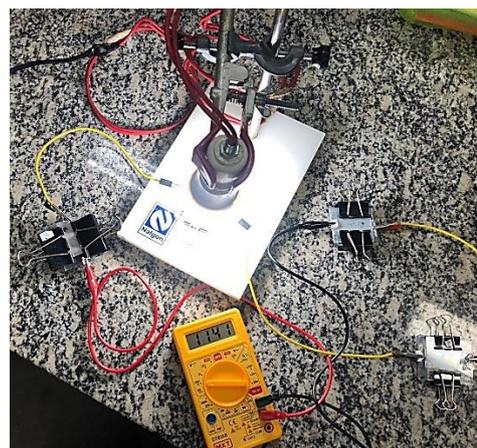
Ao realizar a leitura da voltagem destas células no multímetro, pôde-se perceber que este método de agrupamento não apresentou resultados positivos, uma vez que a voltagem lida não se mostrou alta comparada às obtidas das células lidas individualmente.

**Figura 8. DSSCs agrupadas com auxílio de prendedores de metal em suas extremidades**



Posteriormente testou-se outra forma de agrupá-las, onde as células foram ligadas umas às outras, alternadamente nos fotoânodos e nos contraeletrodos através de cabos conectores. Ao realizar a leitura da voltagem destas células, pôde-se perceber que este método apresentou resultados positivos, pois o sistema, por sua vez, alcançou 1.145mV, o que demonstra sua efetividade como forma de medição e apresenta a funcionalidade das DSSCs.

**Figura 9. DSSCs agrupadas com auxílio de conectores.**



#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os objetivos propostos e os dados obtidos, pode-se concluir que o estudo e desenvolvimento de células fotovoltaicas sensibilizadas por corante de hibisco gerou bons resultados, uma vez que após serem submetidas aos testes, se mostraram condutivas.

Durante o processo de sinterização, alguns dos substratos de vidro, ao serem retirados da mufla e submetidos a um jato da solução precursora, sofreram rachaduras devido à diferença de temperatura entre o substrato e a solução. Este problema foi amenizado com o aumento da temperatura da solução para 90 °C no momento da aplicação.

Constatou-se que em relação ao contraeletrodo, houve melhor eficácia no uso do grafite em lápis 6B, substituindo assim a utilização do grafite em pó. Nesta mesma etapa, a fim de otimizar os resultados, o tempo no qual os substratos foram mantidos na mufla ligada passou a ser de 30 para 45 minutos.

O agrupamento das 4 DSSCs por meio de prendedores de metal não apresentou efetividade, o que pode ser atribuído a ausência de contato elétrico suficiente para que houvesse corrente entre todas as células.

Por fim, o desenvolvimento das células com a adaptação das metodologias, empregando a substituição de solventes como propanona e metanol por água, e o corante sintético por corante natural, diminuiu o impacto gerado por resíduos, atendendo o propósito de geração de uma fonte de energia limpa.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente umas às outras, visto que sem o apoio mútuo, a

compreensão e parceria não teríamos conseguido finalizar essa etapa tão importante de nossas vidas.

Aos professores, em especial, ao nosso orientador Prof. Alexandre Barros e aos coorientadores Profa. Thais Taciano e Prof. Fabio Rizzo, por guiarem este trabalho e por toda a atenção e disponibilidade, dado que sempre estavam dispostos em contribuir para o nosso aprendizado e alcance de melhores resultados.

Somos gratos a todos familiares pelo apoio, compreensão e paciência demonstrada durante o período deste projeto.

Agradecemos a todos os professores da ETEC irmã Agostina por se prontificarem, nos auxiliando em tarefas práticas e embasamentos teóricos, tirando dúvidas e cedendo algumas de suas aulas para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Centro Paula Souza e a ETEC Irmã Agostina, que foram essenciais no nosso processo de formação profissional.

## REFERÊNCIAS

- ABDULKARIM, S.; ELBOHY, H; ADHIKARI, N.; HASAN, M.N.; YUE. W.; QIAO, Q.. **Urea-Treated Electrolytes for Higher Efficiency Dye Sensitized Solar Cells. The Journal Of Physical Chemistry C. (S.L.)**, v. 121, n. 39. p. 21225-21230, 26 set. 2017. American Chemical Society (ACS).
- AGÊNCIA EFE. **Mais de 800 milhões de pessoas no mundo não têm acesso a energia elétrica, diz Banco Mundial**. G1, São Paulo, 22 mai. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/>. Acesso em 21 out. 2021.
- BRAGA, A. et al. **Poluição atmosférica e saúde humana**. Revista USP, São Paulo, n. 51, 58-71, set./nov. 2001.
- CARVALHO, G.B.L.. **Corante natural de açaí em dispositivos fotovoltaicos**. 2016. 47 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- CARVALHO, E. F. A.; CALVETE, M. J. F. Energia Solar: **Um passado, um presente...um futuro auspicioso**. *Revista Virtual de Química*, Aveiro, v.2,n.3,p.192-203,dez.2010. DOI [dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20100018](https://doi.org/10.5935/1984-6835.20100018). Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/> Acesso em: 20out. 2021.
- COUTINHO, N.F. **Células Solares Sensibilizadas por Corante**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
- ENERGIA renovável chega a quase 50% da matriz energética brasileira. Governo do Brasil, Brasília, 11 ago. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasileira-1>. Acesso em 21 out. 2021.
- FEITOSA, A.V. **Estudo de Novos Corantes Naturais Fotoexcitáveis Como Sensibilizadores em Células Solares**. 2011. Dissertação (Mestrado Acadêmico ou Profissional em 2011) - Universidade Estadual do Ceará, 2011.
- GOETZKE, V. **Avaliação do desempenho da DSSC com a variação de parâmetros físicos**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Disponível em: [http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/4831/1/Dissertacao\\_Vitor\\_Goetzke.pdf](http://guaiaca.ufpel.edu.br/bitstream/prefix/4831/1/Dissertacao_Vitor_Goetzke.pdf). Acesso em: 19 out. 2021.
- GRÄTZEL, M. **Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells**. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Amsterdã, v. 164, n.1–3,p.3–14, jun.2004.DOI <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.02.023>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S101060300400108X>. Acesso em: 19 out. 2021.
- GRUBERT, S. S.; OLIVEIRA, V. A. de. **Evolução das energias renováveis e perspectivas para o futuro utilizando a biomassa**. REVISTA JURÍDICA DIREITO, SOCIEDADE E JUSTIÇA, [S. l.], v. 6, n. 8, 2021. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/RJDSJ/article/view/6431>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Geração termoeétrica e emissões atmosféricas: poluentes e sistemas de controle**. Instituto de Energia e Meio Ambiente São Paulo, 2016. 37 p. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/IEMA-EMISSOES.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2021.
- KAHAN, A. **EIA projects nearly 50% increase in world energy usage by 2050, led by growth in Asia**. U.S. Energy Information Administration, Washington, 24 set. 2019. Disponível em: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=41433>. Acesso em: 21 out.2021.
- LAURA, G.A.. **Pasta de TiO2 para uso em Células Solares Fotovoltaicas**. 2017. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.
- LIMA, J.C.. **Fabricação de filmes finos de SnO2:F por spray pirólise**. 2013. 102 f. Dissertação(Mestrado) - Curso de Física, Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- LOURENÇO, T. M. de F. **Emissão de gases de efeito estufa na produção de energia elétrica gerada por usinas hidroelétricas, eólicas e termoeletricas no Brasil**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viwer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.dcta.cefetmg.br%2Fwp-content%2Fuploads%2Fsites%2F21%2F2017%2F>

2F06%2FTCC\_Thuany-Marra-Figueiredo-Louren%25C3%25A7o.pdf&clen=1533520&chunk=true>. Acesso em: 01 dez. 2021.

MACIEL, M. J. **Avaliação do extrato alcoólico de hibisco (*hibiscus sadbariffa* L.) como fato de proteção antibacteriana e antioxidante em alimentos.** 2011. 61f. Tese (dissertação em tecnologia de alimentos) – Instituto de ciência e tecnologia de alimentos, Universidade federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MATRIZ energética e elétrica. Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 21 out. 2021.

MATTEDE, H. **Placas Solares, o que são e como funcionam?**. Mundo da Elétrica, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/placas-solares-o-que-sao-e-como-funcionam/>. Acesso em: 28 out. 2021.

MAYRINCK, C; ROCHA, LA; VITORETI, A.B.F.; VAZ, R.. TARTUCI, LG. FERRARI, J.L.: SCHIAVON, M.A.. **Célula Solar de Grätzel: Uma Proposta de Experimentação Interdisciplinar.** Revista Virtual de Química, [S.L.].

NAZEERUDDIN, M. K. et al. **Conversion of Light to Electricity by Cis-X2bis(2,2'- bipyridyl-4,4'dicarboxylate)ruthenium(II) Charger-Transfer Sensitizers (X = Cl-, Br-, I-, CN-, and SCN-) on Nanocrystalline Titanium Dioxide Electrodes.** Journal of the American Chemical Society, Nova Iorque, v. 115, p. 6382-6390, 1993. DOI <http://dx.doi.org/10.1021/ja00067a063>. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja00067a063>. Acesso em: 15 nov. 2021.

OREGAN, B.; GRATZEL, M. **A low-cost, high efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films.** 1991. 352 v. Chemistry, Institute Of Physical Chemistry, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, 1991.

PORTAL SOLAR. **Energia Limpa: Fontes de Eletricidade Limpas.** São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-limpa-fontes-de-eletricidade-limpas>. Acesso em: 20 out. 2021.

QUEIROZ, J.C.A.. **Produção e análise do desempenho óptico e elétrico de filmes finos de SnO<sub>2</sub>:F (FTO) para aplicações fotovoltaicas.** 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de

Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

REDDY, K. G. et al. **On global energy scenario, dye-sensitized solar cells and the promise of nanotechnology.** Physical Chemistry Chemical Physics, Londres, v.16, n.15, p.6838-6858, jan.2014.<http://dx.doi.org/10.1039/C3CP55448A>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/cp/c3cp55448a>. Acesso em: 19 out. 2021.

ROCHA, Inês Da Costa et al. **Hibiscus sabdariffa L. –A phytochemical and pharmacological review.** Food Chemistry, Elsevier, ano 2013, v. 165, n. 165, 24 nov. 2013. p. 424-443. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/>. Acesso em: 16 abr. 2022.

ROSSI, A. **Tudo o que você precisa saber sobre as usinas nucleares de Angra 1 e 2, e por que são diferentes de Chernobyl.** BBC News Brasil, São Paulo, 23 jun. 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-48683942>. Acesso em: 21 out. 2021.

ROVIRA, O. E. **Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación.** 2012. Dissertação (Mestre em Sustentabilidade) – Universidade Politécnica de Catalunya, Barcelona. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/19179/TFM-OscarEnguita.pdf>. Acesso em: 19 out. 2021.

SANT'ANA, J.. **Governo anuncia bandeira tarifária 'escassez hídrica'; custo será de R\$ 14,20 a cada 100 kWh.** G1, Brasília, 31 ago. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/crise-da-agua/noticia/2021/08/31/governo-anuncia-criacao-da-bandeira-tarifaria-escassez-hidrica-acima-da-vermelha-patamar-2.ghtml>. Acesso em 21 out. 2021.

SIOPA, Daniel Alexandre. **Fotoânodos 1D-ZnO preparados por métodos híbridos com aplicação em células solares,** Lisboa, 2015. Disponível em: [https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/17997/1/ulfc112489\\_tm\\_Daniel\\_Siopa.pdf](https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/17997/1/ulfc112489_tm_Daniel_Siopa.pdf)

Smestad G.P, Gratzel M. Demonstrating Electron Transfer and Nanotechnology: **A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter.** Journal of Chemical Education, Vol. 75 No. 6. p. 752-756. 1988. <https://doi.org/10.1021/ed075p752>. Disponível em:

<http://web.pdx.edu/~wamserc/Research/JCE-Gratzel.pdf>. Acesso em 23 de abril, 2022

SONAI, G. G. et al. **Células solares sensibilizadas por corantes naturais: Um experimento introdutório sobre energia renovável para alunos de graduação.** Química Nova, São Paulo, v. 38, n. 10, p.1357-1365, set.2015. DOI <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150148>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/N6ZKCZ4Qq4k8zvX9v3TFg9R/?lang=pt>. Acesso em: 19 out. 2021.

TEIXEIRA, L.N.; STRINGHETA, P.C.; OLIVEIRA, F.A. de. **Comparação de métodos para quantificação de antocianinas.** Revista Ceres, Viçosa, v. 55, n. 4, p. 297-304, ago. 2008.

Tractz, Gideã T. et al. **Avaliação da adsorção e estudo eletroquímico de células solares produzidas com tio2 e corante extraído do hibiscus.** Química Nova [online]. 2018, Guarapuava-PR. v. 41, n. 5 [Acessado em 23 de abril de 2022], pp. 512-518. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170212>>. ISSN 1678-7064. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170212>.

UENOJO ,Mariana et al. **Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma:** Carotenoids: properties, applications and biotransformation in flavor compounds. INTRODUÇÃO, [s. l.], 30 jul. 2007. DOI <https://doi.org/10.1590/S010040422007000300022>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/7R78BnnsV5mNPsCjk938LbH/?lang=pt> Acesso em: 19 mar. 2022.