



ANÁLISE DO PERFIL FOTOSSENSIBILIZANTE DE CORANTES CONTENDO ANTOCIANINAS, BETALAÍNAS E CAROTENOIDES PARA APLICAÇÃO EM CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Bartô Vitor da Cruz Lima Medeiros¹
Leonardo da Silva Barreto
Marcelo Pereira Machado
Robert Lucas Pereira de Oliveira
Vitória Marques Martins*
Wesley Lima Pedrosa

RESUMO

O uso de luz solar como uma proposta sustentável de energia elétrica está cada vez mais necessário, porém a fabricação e a instalação de placas solares exige um grande investimento, assim não sendo totalmente eficaz, com isso, surgem as células solares sensibilizadas por corantes (CSSCs) com o objetivo de diminuir o preço na fabricação.

Apesar do custo menor, a obtenção desses corantes possui várias complicações, assim, este trabalho tem como objetivo o estudo do perfil fotossensibilizante de corantes extraídos a partir do resíduo úmido da uva BRS Vitória, casca de beterraba e casca de cenoura, focando assim nas antocianinas, betalainas e carotenóides, respectivamente, a fim de uma possível substituição dos corantes sintéticos.

Os corantes obtiveram picos máximos de absorção em 425 nm para os carotenóides, 540nm para as betalainas e 534nm para as antocianinas, tal qual o esperado, sendo 427nm, 540nm e 540nm respectivamente (Sonai, G. G. et al. 2015). Há um destaque do corante extraído da beterraba, que possui o teor de betalainas mais próximo da literatura, como pode ser visto no terceiro lote, possuindo 287,551mg/100g, sendo o valor esperado de 253,7mg/100g (Udonkang, 2018). Apesar de um possível resultado favorável, ainda há a necessidade da realização de testes em células solares utilizando os corantes extraídos para que assim possa ser confirmada sua eficiência.

ABSTRACT

The use of sunlight as a sustainable proposal of electric energy is increasingly necessary, but the manufacture and installation of solar plates requires a large investment, thus not being fully effective, with this, dye-sensitized solar cells (DSSCs) arise with the aim of reducing the price in manufacturing.

Even with a lower cost, the obtaining of these dyes may not be favorable, thus, this work aims to study the sensitizing profile of dyes extracted from the wet residue of grapes BRS Vitória, beetroot and carrot peel, thus focusing on anthocyanins, betalains and carotenoids respectively, in order to a possible replacement of synthetic dyes.

¹ Curso Técnico em Química – ETEC Irmã Agostina
Av. Feliciano Correa s/n – Jardim Satélite - CEP 04815-240 - São Paulo – Brasil
*vitoria0204martins@gmail.com

Recebido em: 02/12/2022

Apresentado à banca em: 08/12/2022

The dyes obtained maximum absorption peaks at 425 nm for carotenoids, 540nm for betalains and 534nm for anthocyanins, as expected, being 427 nm, 540 nm and 540 nm respectively (Sonai, G. G. et al. 2015). There is a highlight of the dye extracted from beetroot, which has the betalain content closest to the literature, as can be seen in the third batch, having 287.551mg/100g, with the expected value of 253.7mg/100g (Udonkang, 2018).

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, sendo o país que mais recebe radiação solar no mundo, possui um grande potencial de instalação de sistemas de energia fotovoltaicos. O uso da luz solar representa uma proposta sustentável para obtenção de energia elétrica, visto que não há emissão de gases poluentes durante sua operação, não necessita de áreas para desmatamento e os impactos negativos ligados a fase de implantação são temporários. Porém, devido ao alto custo de investimentos em fabricação e instalação das placas solares, esse tipo de energia corresponde a apenas 2,4% da matriz elétrica brasileira, segundo dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) do ano de 2021, sendo inacessível para grande parte da população. (BOREAL SOLAR, 2016; FILHO et al, 2015)

As células solares sensibilizadas por corante (CSSCs) surgem como uma alternativa para as células fotovoltaicas tradicionais, fabricadas com silício, com o objetivo de baratear a produção desses dispositivos. Os corantes aplicados nessas células majoritariamente são aqueles feitos de rutênio e seus complexos. No entanto, o rutênio não é um metal abundante e sua extração e purificação possuem custos elevados, além dos complexos processos de síntese. Tendo isso em vista, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar as características fotossensibilizantes de corantes naturais extraídos do resíduo úmido da uva BRS Vitória, da casca da beterraba e casca da cenoura para sua possível aplicação em células fotovoltaicas. (BRITO, 2013)

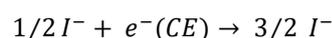
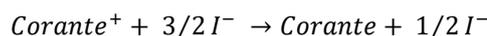
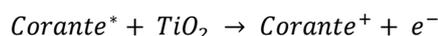
1.1 Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSCs)

As células solares sensibilizadas por corante, ou células de Grätzel, são dispositivos fotovoltaicos capazes de gerar eletricidade por meio de um processo fotoeletroquímico, desenvolvidos e caracterizados pela primeira vez em 1991 por Michael Grätzel e Brian O'Regan. São constituídas de: um substrato coberto com um óxido condutor transparente, um filme semicondutor, uma camada absorvedora sensibilizada ligada ao

semicondutor, um eletrólito contendo um par redox e um contra eletrodo capaz de regenerar o par redox. (CARVALHO, 2014; HAGFELDT, 2012; TRACTZ et al., 2020).

O ciclo de funcionamento de uma CSSC se inicia com a excitação dos elétrons presentes no corante pela radiação luminosa ($h\nu$), que são injetados na banda de condução do óxido semicondutor, geralmente TiO_2 , e levados ao circuito externo, o que ocasiona a oxidação do corante. Em seguida, o corante é regenerado pelas cargas negativas doadas pelo eletrólito, que dispõe de um par redox I^-/I_3^- . Sendo assim, o iodeto sofre oxidação e torna-se triiodeto. Por fim, ocorre a regeneração do par redox no contra eletrodo (CE). Os elétrons que percorreram o circuito externo, onde geraram energia, retornam à célula e são injetados no eletrólito, provocando a redução do I_3^- de volta para I^- , tornando o processo cíclico. (CARVALHO, 2016; GOETZKE, 2019; MAYRINCK et al, 2017; TRACTZ et al, 2020)

As reações químicas presentes no funcionamento da célula estão descritas a seguir:



1.2 Corante sensibilizador

O corante sensibilizador possui um papel fundamental na célula fotovoltaica, tendo grande influência sobre sua eficiência. É responsável pela absorção de luz e pela injeção dos elétrons no semicondutor, dando início ao seu ciclo de funcionamento. Para ser considerado um bom sensibilizador, um corante deve absorver uma ampla faixa do espectro eletromagnético, injetar elétrons na camada semicondutora, possuir boa estabilidade nos estados fundamental, excitado e oxidado. (LOPES, 2015; MARTINS, 2013)

Os corantes sintéticos a base de rutênio e seus complexos são os mais empregados nas CSSCs. Apesar de preencherem bem os requisitos necessários para a aplicação nas células, apresentam complicações

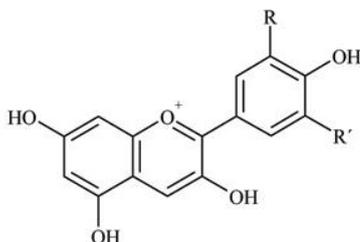
relacionadas aos seus processos de obtenção, extração, purificação e síntese, que associam altos custos ao dispositivo final. (BRITO, 2013)

Com isso, diversos corantes naturais vêm sendo analisados para serem empregados nas CSSCs como substituintes dos corantes sintéticos. Características como pH, solvente, temperatura, concentração, copigmentação e estabilidade são avaliados para que um corante orgânico seja considerado um bom sensibilizador, sendo os que contêm antocianinas, betalainas e carotenoides os mais utilizados. (SAMPAIO, 2014; SONAI et al., 2015).

1.3 Antocianinas

As antocianinas são pigmentos pertencentes ao grupo dos flavonoides, compostos fenólicos com esqueleto de carbono C₆-C₃-C₆, cuja cor varia do vermelho vivo ao azul/violeta. Elas se diferenciam dos outros flavonoides pela forte capacidade de absorver luz na região visível do espectro. Sua estrutura fundamental é o cátion-2-fenilbenzopirilium, também conhecido como cátion flavilium, visto na Figura 1. (CASTAÑEDA, 2009; MARÇO; POPPI; SCARMINIO, 2008; SILVA; NEVES, 2021).

Figura 1: Estrutura molecular do cátion-2-fenilbenzopirilium (cátion flavilium)



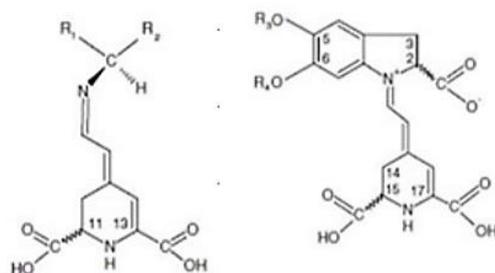
Uma das maiores fontes de antocianinas é a uva e suas inúmeras variedades. Seu consumo pode acontecer *in natura* ou na forma de derivados como vinhos, sucos, entre outros. Durante a fabricação desses derivados, o processamento da uva gera vários resíduos, sendo o principal o bagaço. Este é resultado da prensagem das uvas, formado pelas partes sólidas da fruta. Durante a produção de vinho, estima-se que a cada 6 L de vinho fabricado é gerado 1 kg de resíduo, composto principalmente de cascas, caules e sementes. Esse subproduto pode causar danos ao meio ambiente devido à alta concentração de compostos fenólicos, o que torna relevante seu reaproveitamento. (ABE et al., 2007;

GALANAKIS, 2017; ROCHA et al., 2019; SCHWARTZ, 2020)

1.4 Betalainas

As betalainas compreendem uma classe de pigmentos derivados do ácido betalâmico. São divididas em dois grupos: as betacianinas, que apresentam coloração vermelho violeta, e as betaxantinas, de coloração amarela, com estrutura molecular exposta na Figura 2. A beterraba (*Beta vulgaris*) é uma rica fonte de betalainas, responsáveis por sua pigmentação roxa-avermelhada. (SANTOS, 2017; SCHIOZER; BARATA, 2013)

Figura 2: Estrutura molecular das betacianinas e betaxantinas, respectivamente



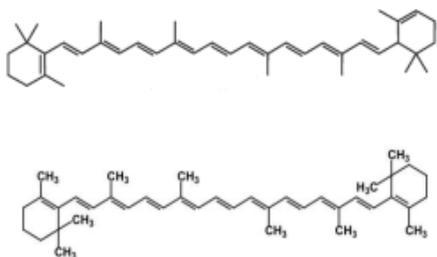
A beterraba é uma das hortaliças mais cultivadas no Brasil, tendo grande valor econômico. Ao realizar o consumo desse vegetal, grande parte dos brasileiros considera apenas a polpa, gerando grandes quantidades de resíduos orgânicos, constituídos de folhas, talos e cascas, que podem ser reaproveitados de várias formas. (SANTOS et al, 2021)

1.5 Carotenoides

Os carotenoides constituem um importante grupo de pigmentos naturais que se destacam por sua coloração amarela, laranja ou vermelha, atividade antioxidante e por serem precursores de vitamina A. São classificados em dois grupos: os carotenos, formados apenas por carbono e hidrogênio, e as xantofilas, que são derivados oxigenados. (MORAIS, 2006; SCHIOZER; BARATA, 2013)

A cenoura (*Daucus carota L.*) é um vegetal rico em carotenoides, que podem estar presentes em sua composição tanto na forma de carotenos, principalmente como α -caroteno e β -caroteno, vistos na Figura 3, quanto como xantofilas. (MORAIS, 2006)

Figura 3: Estrutura molecular simplificada do α -caroteno e β -caroteno, respectivamente



A cenoura está entre as 5 hortaliças mais cultivadas no país. Com o alto consumo desse legume, quilos de resíduos são produzidos, pois as cascas são majoritariamente descartadas. Assim como a beterraba, os resíduos orgânicos da cenoura também podem ser reaproveitados de diversas maneiras. (DAMIANI, 2020; EMBRAPA, 2021)

2. METODOLOGIA

Neste item encontram-se descritos todos os materiais e procedimentos utilizados para a realização das análises.

2.1 Materiais

Os reagentes utilizados para realização dos procedimentos estão descritos a seguir: ácido clorídrico P.A., etanol P.A., hexano P.A. e sulfato de sódio anidro.

Foram utilizados os seguintes materiais: almofariz e pistilo, balões volumétricos, béqueres, cubetas, descascador, erlenmeyer, frascos âmbar, funil de separação, funil de vidro e provetas.

Os equipamentos necessários foram: estufa para análise de temperatura variável, geladeira, balança analítica, banho-maria, espectrofotômetro, pHmetro, processador.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção do corante do resíduo da BRS Vitória

A obtenção do corante a partir do resíduo úmido da uva teve como base a método utilizado por dos Santos (2019) e aplicado a este trabalho.

Devido a indisponibilidade de uvas de vinho durante o período no qual o trabalho foi realizado, foi utilizada a uva BRS Vitória, uma cultivar de uva de mesa preta sem sementes.

O processo de extração do corante é dividido em duas etapas. A primeira etapa

consiste na obtenção do resíduo úmido da Uva Vitória e a segunda etapa tem como objetivo a extração do corante natural por meio de um procedimento de extração sólido-líquido. O resíduo úmido foi obtido a partir do processamento de 400 g da fruta in natura juntamente com 145 mL de água destilada. Em seguida, com o auxílio de uma peneira, o suco foi filtrado a fim de separá-lo do resíduo úmido, então, transferido para um béquer de 250 mL e pesado em uma balança analítica.

A segunda etapa se inicia com a secagem do resíduo. A amostra foi seca em estufa por 48 horas a 60°C. Após esse período, foram pesados 10 g do resíduo. A amostra foi transferida para um béquer de 250 mL e foram adicionados 70 mL do solvente extrator e HCl 36% suficiente para baixar o pH para 2.

A solução foi mantida sob aquecimento em banho maria à temperatura de 40°C sob agitação constante, durante 1 hora. Por fim, o extrato obtido foi filtrado por meio de filtração simples e armazenado em frasco âmbar, abrigado da luz.

2.2.1.1 Análise espectrofotométrica do corante

Primeiramente, foi preparado uma solução mãe de 50 mL a 20% do corante obtido. Em seguida, a partir dessa solução, foram preparadas três soluções de 10 mL para análise, sendo pipetado em balões volumétricos, respectivamente, 500 μ L, 1000 μ L e 1500 μ L. Em seguida, completou-se o volume com o solvente extrator. As soluções foram transferidas em cubetas de polietileno e assim foi realizada uma varredura no intervalo entre 350 nm e 550 nm, utilizando o etanol P.A. como branco.

2.2.2 Obtenção do corante de casca de beterraba

A obtenção do corante de casca de beterraba teve como base a método utilizado por Chepluki (2021) e aplicado a este trabalho.

A casca da beterraba foi previamente lavada e armazenada até o seu uso. Foram pesados 50 g da amostra, que foi triturada com o auxílio de um mixer, juntamente com 30 mL de etanol 50%. A amostra foi transferida para um frasco âmbar, onde foram adicionados 70 mL do solvente extrator e armazenada na geladeira por 24h. Após esse processo foi realizada uma filtração simples, com a

finalidade de se obter apenas a parte líquida e, então, armazenada em frasco âmbar.

2.2.2.1 Análise espectrofotométrica do corante

Primeiramente, foi preparado uma solução mãe de 50 mL a 20% do corante obtido, utilizando etanol 50% como solvente. Em seguida, foi realizado uma nova diluição na concentração de 5%, 0,6% e 0,8%, para o primeiro, segundo e terceiro lote, respectivamente. As soluções foram depositadas em cubetas de plástico e, assim, realizado a leitura na faixa de 400 nm a 575 nm, sendo o etanol 50% a solução branco

2.2.3 Obtenção do corante de casca de cenoura

A obtenção do corante de casca de cenoura teve como base a método utilizado e Bordon (2018) e aplicado a este trabalho.

A cenoura foi mantida em ambiente refrigerado até ser utilizada. A amostra passou por uma lavagem com água corrente para retirada de impurezas e após isso foi enxugada com papel absorvente e descascada com um descascador, desprezando a polpa. Foram pesados 10 g da casca coletada com o auxílio de um béquer de 250 mL e a massa obtida foi macerada em um almofariz com 10 mL de etanol. A amostra foi então transferida para um frasco âmbar, seguido da adição de 40 mL de solvente extrator, etanol 99,5% e mantida na geladeira, por 24h. Posteriormente, com o auxílio de um funil de vidro e papel de filtro, a solução passou pelo processo de filtração e foi armazenada em frasco âmbar, abrigado da luz.

Após a extração, foi realizado o processo de bipartição, onde o extrato foi transferido para um funil de separação, seguido da adição de 3 porções de 20 mL de hexano P.A., promovendo a formação de duas fases, sendo a fase do hexano a menos densa. Para a retirada do restante de etanol que a mistura possa conter, foram realizadas duas lavagens com porções de 15 mL de água destilada. A fase apolar foi levada a um Erlenmeyer e, neste, adicionou-se uma espátula de cristais de sulfato de sódio anidro, para concluir a retirada de água. O extrato foi filtrado para que não houvesse cristais presentes e, em seguida, armazenado em frasco âmbar.

2.2.3.1 Análise espectrofotométrica do corante

Para a análise espectrofotométrica e obtenção do espectro de absorção do corante foram realizadas leituras em cubetas de vidro com 1 cm de caminho óptico, previamente ambientadas, no intervalo de 300 nm a 480 nm. Para a solução branco, foi utilizado o hexano P.A.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados obtidos na análise no espectrofotômetro, foi possível construir o espectro de absorvidade dos corantes analisados. Dessa forma, é possível quantificar os pigmentos naturais presentes neles e avaliar seu potencial para aplicação em células fotovoltaicas.

Para efeito de comparação, foram preparados três lotes de cada corante, onde no corante de uva e cenoura foi realizadas leituras espectrofotométricas padronizadas e no corante de beterraba as leituras foram feitas com concentrações diferentes em cada lote.

Para início do preparo dos corantes apresentados, foram realizados testes preliminares para conhecer as espécies que iriam ser utilizadas. Dessa forma, constatou-se que havia interferências nos corantes da beterraba e da cenoura, dificultando as leituras no espectrofotômetro, que poderiam estar ligadas ao cultivo dos vegetais. Sendo assim, foi optado por utilizar somente aqueles produtos orgânicos que possuíam selos certificando que não foi utilizado agrotóxicos.

3.1. Extração dos corantes

O corante da uva não apresentou adversidades em seu procedimento de obtenção. Sua coloração era roxo escuro, a tonalidade mais escura dentre os demais corantes. A Figura 4 expõe o método de secagem da uva e a Figura 5 sua extração antes do armazenamento.

Figura 4: Uva antes e depois do processo de secagem.



Figura 5: Extração do corante da casca da uva.



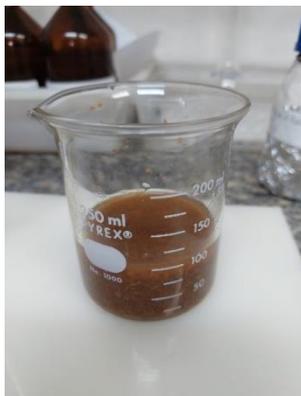
Quanto ao corante da beterraba, sua coloração roxo avermelhada se manteve forte desde o início do processo. Apesar de se utilizar as cascas do vegetal e a mesma possuir textura rígida, não foi encontrado dificuldades para extrair seu corante. A Figura 6 exibe o recolhimento do corante após passar pela filtração simples.

Figura 6: Filtração do corante da beterraba.



Acerca do corante da cenoura, inicialmente, o corante em sua extração apresentou coloração laranja amarronzado, logo após ser macerado, como exposto na Figura 7.

Figura 7: Extração do corante da casca da cenoura.



No entanto, após ser armazenado por 24 horas na geladeira, em contato com o Etanol 99,5%, e filtrado, sua coloração mudou para amarelo vivo, conforme Figura 8.

Figura 8: Bipartição do corante da cenoura e extrato obtido.



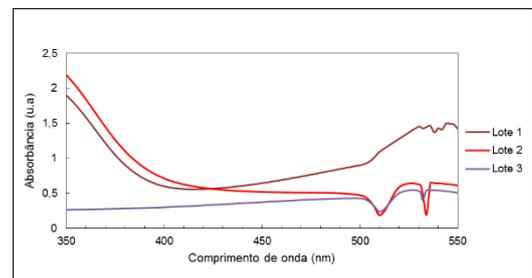
Em geral, a consistência e coloração dos corantes obtidos estavam de acordo com o descrito em seu respectivo trabalho usado como base.

3.2. Determinação do comprimento de onda de máxima absorção dos corantes

3.2.1. Uva

O Gráfico 1 apresenta os espectros de absorção dos três lotes do corante da uva, com pico de absorbância máxima dentro da região do visível, em 534 nm. A variação da linha do lote 1 se distoia do restante devido a diferença entre das marcas de uva utilizadas.

Gráfico 1: Espectro de absorvidade do corantes da uva.



A quantificação das antocianinas (mg/100g) foi feita posterior a análise espectrofotométrica, para utilizar o pico de máxima absorção. Dessa forma, foi feito o cálculo através da Fórmula 1:

$$Teor_{antocianinas} \left(\frac{mg}{100g} da amostra \right) = \frac{(DO \times VE1 \times VE2 \times 1000)}{(Valq \times m \times 982)} \quad (1)$$

Onde:

DO = absorbância do extrato

VE1 = volume total do extrato concentrado (mL)

VE2 = volume total do extrato diluído (mL)

Valq = volume da alíquota utilizado na diluição do extrato concentrado (mL)

m = massa da amostra

982 = coeficiente de extinção médio de antocianinas para o Método pH único segundo Teixeira (2008).

O Teor de Antocianinas Totais de cada lote está expresso na Tabela 1.

Tabela 1: Teor de Antocianinas Totais em cada lote.

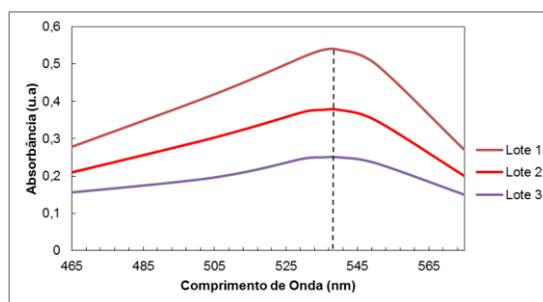
Lote	Teor (mg/100g)
1	0,6648
2	0,1466
3	0,0782

É possível observar que os valores alcançados não são tão expressivos como os descritos na literatura, onde as concentrações de antocianinas obtidas na amostra de repolho roxo foi de 24,36 mg/100g e na de jabuticaba foi de 492,74 mg/100g. Ainda assim, os resultados encontrados se fazem relevantes posto que os baixos teores de antocianinas encontradas nos lotes possivelmente estão ligados às uvas adquiridas em dias diferente e/ou, até mesmo, às condições durante o processo de extração, por conta da fotossensibilidade do pigmento, acelerando sua degradação através da luz.

3.2.2. Beterraba

De acordo com o Gráfico 2, é possível observar o espectro de absorção dos três lotes do corante da beterraba, onde apresentaram absorção na região do visível, com pico em 540 nm. Isso se deve por conta da presença de betacianinas, pertencente a classe de pigmentos naturais das betalaínas. O corante do lote 1 se destaca com a maior absorbância apresentada, possivelmente em razão da diferença de onde foram adquiridas, do tempo de armazenagem e/ou da quantidade de betacianinas presentes. (CHEPLUKI, 2021)

Gráfico 2: Espectro de absorvidade do corante de beterraba.



A quantificação das betalaínas (mg/L) foi feita posterior a análise espectrofotométrica, para utilizar o pico de máxima absorção. Dessa forma, foi feito o cálculo através da Fórmula 2:

$$\text{Teor}_{\text{betalaínas}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = A \times DF \times MW \times 1000 / \epsilon \times L \quad (2)$$

Onde:

A = absorbância do extrato

DF = fator de diluição

MW = massa molar (550 g.mol⁻¹)

ε = absorvidade molar (L.mol⁻¹.cm⁻¹)

L = comprimento do percurso (cm)

O Teor de betalaínas Totais de cada lote está expresso na Tabela 2.

Tabela 2: Teor de Betalaínas Totais em cada lote.

Lote	Teor (mg/g)
1	98,643
2	575,866
3	287,551

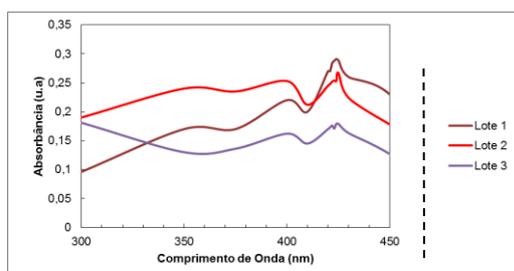
As concentração de betalaínas encontradas em cada lote apresentam resultados positivos, visto que o objetivo principal era extrair esses pigmentos. Além disso, os valores alcançados são semelhantes aos de Udonkang (2018), onde ele obteve o teor de 253,7 mg/100g de betalaínas também na beterraba vermelha. Ainda assim, a concentração do lote 1 foi menor do que a dos demais lotes, o que provavelmente se deve a sua degradação durante os procedimentos, uma vez que possui perfil fotossensível.

3.2.3. Cenoura

O Gráfico 3 exibe os espectros de

absorção dos três lotes do corante da cenoura, onde possuem absorção na região do visível, com pico em 425 nm. Demonstra-se, então, a presença de α -caroteno e β -caroteno nos corantes, visto que estes apresentam absorvância no mesmo comprimento de onda. (RODRIGUES-AMAYA, 2001)

Gráfico 3: Espectro de absorvidade do corante de cenoura.



A quantificação dos carotenóides ($\mu\text{g/g}$) foi feita posterior a análise espectrofotométrica, para utilizar o pico de máxima absorção. Dessa forma, foi feito o cálculo através da Fórmula 3:

$$\text{Teor}_{\text{carotenóides}} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \right) = \frac{A \times V \times 10000}{(A_{1\text{cm}}^{1\%} \times m)} \quad (3)$$

Onde:

A = absorvância do extrato

V = volume final do extrato (mL)

$A_{1\text{cm}}^{1\%}$ = coeficiente de absorvidade molar do β -caroteno em hexano (2592)

m = massa de cenoura (g)

O Teor de carotenóides Totais de cada lote está expresso na Tabela 3.

Tabela 3: Teor de carotenóides Totais em cada lote:

Lote	Teor ($\mu\text{g/g}$)
1	6,630
2	6,180
3	4,140

Apesar dos teores de carotenóides obtidos nos três lotes serem semelhantes entre si, eles são inferiores ao encontrado na literatura. No trabalho realizado por Bordon (2018), suas concentrações variam de 7,944 $\mu\text{g/g}$ a 24,838 $\mu\text{g/g}$, onde somente o primeiro lote apresenta alguma semelhança com os

resultados obtidos, o que pode estar ligado a presença de luz durante o processo de extração e análise espectrofotométrica.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises dos resultados obtidos, não foi possível comprovar que os corantes naturais confeccionados possuem viável aplicação em células solares sensibilizadas por corante, fazendo-se necessário um teste prático em uma célula.

Porém, foi traçado que o perfil do corante rico em betalaínas possui melhor desempenho em comparação aos demais, apresentando assim uma boa possibilidade para a utilização do corante, diferentemente dos corantes de uva e cenoura, que apresentaram resultados inferiores aos da literatura.

AGRADECIMENTOS

A nossa orientadora Thais Taciano que esteve presente durante todo o processo e nos auxiliou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos nossos familiares e amigos que nos apoiou e deu o suporte necessário.

A ETEC Irmã Agostina pela disponibilização da infraestrutura necessária.

REFERÊNCIAS

ABE, L. T. et al. **Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L.** Food Science and Technology, Campinas, v. 27, n. 2, p. 394-400, jun. 2007.

ABSOLAR. **Energia Solar Fotovoltaica no Brasil – Infográfico ABSOLAR.** 2021.

BORDON, G. et al. **Extração de carotenos a partir da cenoura (*Daucus carota*) para estudo de estabilidade e aplicação como corante alimentício.** 2018. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Química) - Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2018.

BOREAL SOLAR. **Potencial de energia solar: Quais as melhores regiões brasileiras para captação da luz solar.** 2016. Disponível em: <http://borealsolar.com.br/blog/2016/10/26/potencial-de-energia-solar-quais-as-melhores-regioes-brasileiras-para-captacao-da-luz-solar/>

BRITO, R. C. **Estudo e Caracterização de Células Solares Sensibilizadas por Corantes**. 2013. 49 f. Monografia (Graduação) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CARVALHO, A. L. C. **Metodologia para análise, caracterização e simulação de células fotovoltaicas**. 2014. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

CARVALHO, G. B. L. **Corante natural de açaí em dispositivos fotovoltaicos**. 2016. 47 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

CASTAÑENA, L. M. F. **ANTOCIANINAS: O QUE SÃO? ONDE ESTÃO? COMO ATUAM?** Seminário – Curso de Engenharia Agrônoma, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

CHEPLUKI A. A. A. **Construção de equipamentos de baixo custo para análise de células solares sensibilizadas por corantes**. 2021. 73 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia de Energia, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2021.

DAMIANI, C.; MARTINS, G. A. S.; BECKER, F. S. **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS VEGETAIS**. Palmas: EDUFT, 2020.

FILHO, W. P. B. et al. **EXPANSÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: IMPACTOS AMBIENTAIS E POLÍTICAS PÚBLICAS**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 4, ed. esp, p. 628-642, dez. 2015.

GALANAKIS, C.M. **Handbook of Grape Processing By-Products - Sustainable Solutions**. 1º Ed. Cambridge: Academic Press, 2017.

GOETZKE, V. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA DSSC COM A VARIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICOS**. 2019. 80 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2019.

HAGFELDT, A. **Brief Overview of Dye-Sensitized Solar Cells**. Ambio - A Journal of Environment and Society, Estocolmo, v. 41, p. 151-155, mar. 2012.

LOPES, A. F. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NOVOS CORANTES SENSIBILIZADORES DE CÉLULAS SOLARES**. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015

MARTINS, A. D. et al. **OTIMIZAÇÃO DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS**. e-xacta, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 79-92, nov. 2013.

MARÇO, P. H.; POPPI, R. J.; SCARMINIO, I. S. **PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE ANTOCIANINAS PRESENTES EM EXTRATOS NATURAIS**. Revista Química Nova, [S.l.], v. 31, n. 5, p. 1218-1223, abr. 2008.

MAYRINCK, C et al. **Célula Solar de Grätzel: Uma Proposta de Experimentação Interdisciplinar**. Revista Virtual de Química, v. 9, n. 2, p. 717- 728, mar. 2017.

MORAIS, F. L. **Carotenóides: características biológicas e químicas**. 2006. 70 f. Monografia (Especialização) – Curso de Qualidade em Alimentos, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

O'REGAN, B; GRÄTZEL, M. **A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films**. 1991. 352 v. Chemistry, Institute of Physical Chemistry, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne, 1991.

ROCHA, A.M. et al. **UVAS: FORMAS DE USO, CONSUMO E ATIVIDADES BIOLÓGICAS - UMA REVISÃO**. Acta Elit Salutis [S.l.], v. 1, n. 1, jul/dez. 2019.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: International Life Sciences Institute Press, 2001. 71 p.

SAMPAIO, S. G. **ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DE NOVOS CORANTES NATURAIS PARA APLICAÇÃO EM CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS**. 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica e

Produção, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SANTOS, A. B. F. M.; GARCIA, Y. M.; LOPES, F, W, B. **EXTRAÇÃO DE CORANTE NATURAL DO RESÍDUO DA UVA ISABEL (*Vitis Vinifera*)**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Palmas, 2019.

SANTOS, C, D. **Extração, clarificação e estabilização de betalaínas provenientes de talos de beterraba vermelha (*Beta vulgaris* L.)**. 2017. 175 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SANTOS, M. L. P. et al. **Características de consumo e aproveitamento integral da beterraba (*Beta Vulgaris*)**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 8, p. 79770-79780, aug. 2021

SCHIOZER, A. L.; BARATA, L. E. S. **Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal**. Revista Fitos, [S.l.], v. 3, n 02, p. 6-24, 2013

SCHWARTZ, C. G. K. et al. **Compostos bioativos do bagaço de uva (*Vitis vinífera*): seus benefícios e perspectivas para o desenvolvimento sustentável**. In: CORDEIRO, C. A. M. Tecnologia de Alimentos: Tópicos Físicos, Químicos e Biológicos - Volume 1. 1º Ed. São Paulo: Ed. Científica, 2020.

SILVA, I. S.; NEVES, N. A. **ANTOCIANINAS: ESTRUTURA QUÍMICA, ESTABILIDADE E EXTRAÇÃO**. In: OLIVEIRA, K. A. R. et al. Ciência e tecnologia dos alimentos: Pesquisas e avanços. Agron Food Academy, 2021. Disponível em: <https://agronfoodacademy.com/ciencia-e-tecnologia-de-alimentos-pesquisas-e-avancos/>

SONAI, G. G. **CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES NATURAIS: UM EXPERIMENTO INTRODUTÓRIO SOBRE ENERGIA RENOVÁVEL PARA ALUNOS DE GRADUAÇÃO**. Revista Química Nova, [S.l.], v. 38, n. 10, p. 1357-1365, set. 2015.

TRACTZ, G. T. **Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSC): Perspectivas, Materiais, Funcionamento e Técnicas de Caracterização**. Revista

Química Nova, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 748-774, mai. 2020.

UDONKANG, Mfoniso I. et al. **Spectrophotometry, physiochemical properties, and histological staining potential of aqueous and ethanol extracts of beetroot on various tissues of an albino rat**. Biomedicine hub, v. 3, n. 3, p. 1-10, 2018.

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