

Avaliação quantiqualitativa de extrato fitoquímico em *Allamanda Blanchetii* A. DC. Como substâncias sensibilizantes em células fotovoltaicas**Quantiqualitativa evaluation of phytochemical extract in *Allamanda Blanchetii* A. CD. As sensitizers substances in organic photovoltaic cells**

DOI:10.34117/bjdv6n9-242

Recebimento dos originais: 08/08/2020

Aceitação para publicação: 11/09/2020

Mayara Marques Lima

Engenheira Ambiental

Universidade do Estado do Pará

Endereço: Rua Raimundo Pauxis n° 1288, Bairro São Lourenço-Abetetuba/PA

E-mail: maymarques1304@gmail.com

Beatriz Soares Ranke

Engenheira Ambiental

Universidade do Estado do Pará

Endereço: Avenida Araguaia n° 517, Bairro Morada Nova-Marabá - PA, CEP: 68506-709

E-mail: rankebs@gmail.com

Wallinson Pires da Cruz

Especialista em Gestão de Petróleo e Gás

Instituto Federal do Pará, Campus Marabá

Endereço: Avenida Araguaia n°249, Bairro Morada Nova - Marabá - PA, CEP: 68.514-300

E-mail: wallinsonengquimico@hotmail.com

Rosemary Maria Pimentel Coutinho

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Instituto Federal do Pará, Campus Marabá

Endereço: Rua Folha 22, Quadra Especial, Lote Especial s/n 2, R. Nova Marabá – PA

E-mail: rosemary.coutinho@ifpa.edu.br

Antônio Pereira Júnior

Mestre em Ciências Ambientais

Universidade do Estado do Pará. Laboratório de Qualidade Ambiental

Endereço: Rodovia PA 1254 s/n, bairro Angelim, Campus VI, Paragominas, Pará

E-mail: antonio.junior@uepa.br

RESUMO

A produção de energia elétrica é uma atividade que gera impactos ambientais em larga escala. Nesse cenário, cresce o desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias para geração de energia por fontes renováveis, como por exemplo, energia solar. O objetivo dessa pesquisa foi a avaliação quantiqualitativa do extrato fitoquímico da espécie *Allamanda blanchetii* A.DC., como sensibilizante de células fotovoltaicas orgânicas. Os dados obtidos indicaram que o teor de antocianinas totais máximo é de 558,80 mg/100g e mínimo de 383,14 mg/100g em 10 amostras; as antocianinas foram quantificadas através do método de pH único, em espectrofotômetro UV-Vis

após 48 horas em meio extrator etanol a 95% - HCl 1,5N (85/15). Foram montadas quatro células fotoquímicas, a partir da junção da camada de TiO₂ sensibilizada com o extrato da *A. blanchetii* e camada de grafite. Para a caracterização elétrica utilizou-se um multímetro, e a partir das voltagens de circuito aberto (V_{ca}) e corrente de curto-circuito (I_{cc}), foram obtidos os seguintes parâmetros: potência máxima da célula (P_{máx}); Fator de Forma (FF); eficiência da célula solar (η); densidade de corrente de curto-circuito (J_{sc}) e eficiência quântica da célula (EQC). Os dados obtidos da caracterização elétrica foram: J_{sc} = 0,24 a 0,36 mA/cm²; I_{cc} = 2,38 a 3,50 mA; V_{ca} 0,96 a 1 V; P_{máx} = 1,16 a 1,86 mW/cm²; FF = 0,49 a 0,54; η = 11,42 a 18,70%. O extrato da espécie *A. blanchetii* é capaz de sensibilizar substâncias contidas em células fotovoltaicas orgânicas, gerar energia não residual e contribuir para o equilíbrio ambiental.

Palavras-chave: Antocianinas, Caracterização elétrica, Células fotoquímicas.

ABSTRACT

The production of electricity is an activity that generates large-scale environmental impacts. In this scenario, the development and improvement of technologies for the generation of energy by renewable sources, such as, for example, solar energy. The objective of this research was the quantiquitative evaluation of the phytochemical extract of the species *Allamanda blanchetii* A.DC., as sensitizer of organic photovoltaic cells. The data indicated that the maximum total anthocyanins content is 558.80 mg / 100 g and a minimum of 383.14 mg / 100 g in 10 samples; the anthocyanins were quantified by the single pH method in UV-Vis spectrophotometer after 48 hours in extractor medium 95% ethanol-HCl 1.5N (85/15). Four photochemical cells were assembled from the junction of the TiO₂ layer sensitized with the *A. blanchetii* extract and the graphite layer. For the electrical characterization, a multimeter was used, and the following parameters were obtained from the open circuit voltages (V_{ca}) and the short-circuit current (I_{cc}): maximum power of the cell (P_{max}); Form Factor (FF); efficiency of the solar cell (η); short-circuit current density (J_{sc}) and quantum cell efficiency (EQC). The data obtained from the electrical characterization were: J_{sc} = 0.24 to 0.36 mA / cm²; I_{cc} = 2.38 to 3.50 mA; V_c 0.96 to 1 V; P_{max} = 1.16 to 1.86 mW / cm²; FF = 0.49 to 0.54; η = 11.42 to 18.70%. The *A. blanchetii* extract is capable of sensitizing substances contained in organic photovoltaic cells, generating non-residual energy and contributing to environmental equilibrium.

Keywords: Anthocyanin, electric characterization, photochemical cells.

1 INTRODUÇÃO

As principais fontes de energia no País são distribuídas da seguinte forma: energia hidráulica (74,3%), energia térmica (gás natural e carvão mineral) (7,0%), biomassa (bagaço de cana de açúcar) (5,1%), petróleo (2,8%), nuclear (2,7%), gás industrial (1,5%) e eólica (0,4%), sendo o restante (próximo a 6,2%) importado. Como se pode verificar desses dados, a matriz energética do País está completamente desbalanceada por conta da nossa elevada dependência da energia hidráulica, que apresenta um forte componente aleatório: a ocorrência de chuvas nas bacias que abastecem os reservatórios. Atualmente, nas 10 maiores usinas hidrelétricas em operação no Brasil, com exceção de Itaipu e Ilha Solteira, todas as demais têm níveis de reservatório baixos (CORDEIRO; MENEZES, 2013).

Para buscar o equilíbrio dessa defasagem, tem-se o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, como a energia solar, eólica, biomassa, entre outras, tem ganhado mais adeptos nos últimos anos. Uma das principais motivações se deve ao aumento da preocupação ambiental, em particular às possíveis consequências das mudanças climáticas, caso as metas para promover o desenvolvimento sustentável não sejam realizadas (VICHI; MANSOR, 2009).

Nesse contexto, a energia solar surge como alternativa promissora, devido ao elevado potencial energético, principalmente o Brasil, que está localizado em uma posição privilegiada do planeta. No entanto, a produção de energia fotovoltaica mundial detém apenas 0,7% do mercado de energia renovável, sendo que cerca de 90% dos módulos solares, comercializados, são baseados em células fotovoltaicas de silício mono e policristalino, que possuem elevado custo econômico. Dessa forma, a baixa representação do mercado fotovoltaico se deve ao alto custo de fabricação destas células solares, sendo o principal obstáculo para a popularização desta fonte de energia (SONAI et al., 2015).

Historicamente, as células solares sensibilizadas por corante (CSSC), células fotoquímicas ou células de Grätzel, descoberta por Grätzel em 1991, atraíram o interesse de pesquisa devido ao baixo custo e facilidade de fabricação, além de ser uma energia renovável e não poluente (O'REGAN; GRÄTZEL, 1991; GRÄTZEL, 2001).

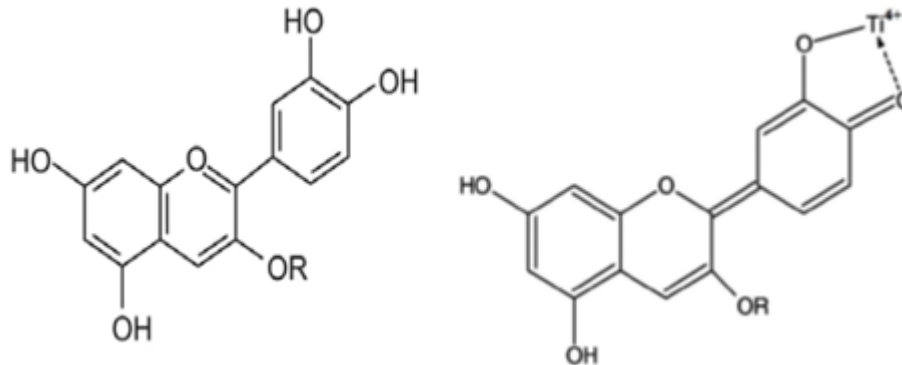
Inicialmente, os complexos baseados em Rutênio (Ru) receberam interesse particular como fotosensibilizadores devido às propriedades eletroquímicas fotográficas favoráveis e alta estabilidade no estado oxidado. Os corantes à base de Ru (II) em conjunto com eletrólitos à base de iodeto (I⁻) foram empregados com sucesso para alcançar a máxima eficiência de conversão de energia de 11,9%. No entanto, a escassez de metais nobres e o alto custo dos corantes de Ru limitam sua comercialização em larga escala (SAWHNEY; RAGHAV; SATAPATHI, 2017).

Por isso, corantes orgânicos, como as antocianinas, vêm sendo alvo de pesquisa para substituir os complexos baseados em Ru (II). As antocianinas absorvem ampla região visível do espectro, e isso lhes confere uma variedade de cores, porém, há dependência do meio onde se encontra. Esse pigmento, em meio ácido, com pH entre 1 e 2, geralmente apresentam coloração na região visível do espectro de cor vermelha, devido ao predomínio da forma estrutural cátion *flavilium* (GUIMARÃES; ALVES; ANTONIOSI FILHO, 2012).

Devido à estrutura das antocianinas apresentarem grupos carbonila (C=O) e hidroxila (OH⁻), são ideais para aplicação em células de Grätzel, pois, a mesma se adsorve facilmente a superfície do semicondutor através da condensação alcoólica entre seus prótons e as hidroxilas presentes no

TiO₂ (Figura 1). Além disso, o efeito quelante devido à proximidade das hidroxilas ao titânio causa uma forte ligação do corante ao semicondutor (SAWHNEY; RAGHAV; SATAPATHI, 2017).

Figura 1 – Estrutura molecular de uma antocianina e sua ligação com Ti⁴⁺.

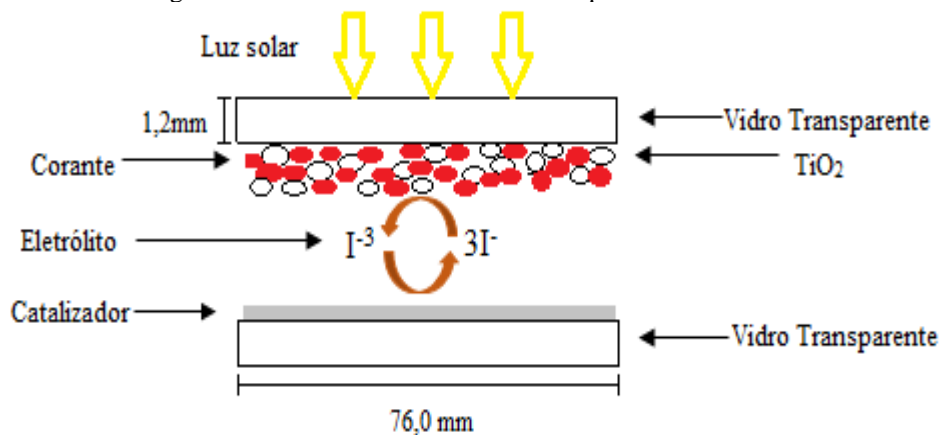


Fonte: Sonai et al. (2015); Sawhney, Raghav e Satapathi (2017).

Dessa forma, as CSSC semelhante a fotossíntese natural, usam corantes orgânicos tais como as antocianinas. Na célula solar um filme de dióxido de titânio substituía Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato (NADP⁺), e dióxido de carbono (CO₂) substitui o aceitador de elétrons, assim também, o iodeto e triiodeto (I⁻, I³⁻) substitui a água e o oxigênio no processo fotossintetizador relativo ao produto de oxidação natural (TOBIN et al., 2011).

Quando a luz incide na célula solar fotoeletroquímica, moléculas do corante absorvem essa radiação e passam para um estado excitado. Essas moléculas excitadas injetam elétrons na banda de condução do semicondutor TiO₂, que ficam num estado oxidado. Esses elétrons são transportados para o contra eletrodo, via circuito externo, e então, injetados no eletrólito, onde reagem com o par oxirredutor: iodeto /triiodeto e a seguir com a molécula que havia sido oxidada (Figura 2), completando o processo regenerativo da célula (GRÄTZEL, 2003).

Figura 2 – Funcionamento da célula fotoquímica de Grätzel.



Fonte: autores (2018).

A *A. blanchetii*, também conhecida como viúva alegre, é uma espécie endêmica da Caatinga (Figura 3), e ocorre preferencialmente em afloramento rochosos, as flores possuem cinco pétalas de coloração rosa púrpura, com uma média de 30 mm de tamanho (ARAÚJO; QUIRINO; MACHADO, 2011). A coloração é um dos principais indicativos da presença de antocianinas, sendo viável estudar a aplicação dessa espécie em células fotoquímicas de Grätzel.

Figura 3 – Espécie *A. blanchetii*. Marabá – PA.



Fonte: autores (2018).

Com base nessas afirmativas, os tipos de energias renováveis devem ser pesquisados com afincos e cuidados, o que justifica e incrementa a relevância dessa pesquisa, pois ela irá contribuir com estudos posteriores acerca da elaboração de placas fotovoltaicas que possam beneficiar a comunidade marabaense.

Dessa forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar, quantitativamente, as antocianinas totais existentes na espécie *A. blanchetii*, o espectro de absorção UV-visível, e a sensibilidade via caracterização elétrica, para uso em células fotovoltaicas orgânicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 FISIOGRAFIA DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Marabá está localizado na mesorregião Sudeste Paraense, na microrregião Marabá. A sede municipal apresenta as seguintes coordenadas: 05° 21' 54" Latitude Sul e 04° 07' 24" Longitude WGr (PARÁ, 2011). Está situada a esquerda do rio Tocantins, tendo como vias de acesso a PA-150, a rodovia Transamazônica e a Belém-Brasília. A precipitação média anual equivale a 2.000 mm/ano, sendo o período de dezembro a maio o que apresenta maior índice de pluviosidade e os meses de junho a novembro mais secos. Quanto à temperatura, esta apresenta

variação de 22,0 °C a 31,0 °C, tendo como média anual o valor de 26,5 °C (PEREIRA JÚNIOR; CAMPOS, 2018).

O método utilizado foi o hipotético-dedutivo (MATIAS-PEREIRA, 2016), pois, aventou-se a hipótese de que a espécie *A. blanchetii* é produtora de antocianina, com capacidade de absorção de espectros luminosos e, deduziu-se que, (1) se isto for real, há uma nova fonte de energia mais limpa e, (2) a extração desse pigmento para aplicação em placas fotovoltaicas, poderá diminuir o custo energético para a comunidade hipossuficientes economicamente.

Quanto a pesquisa, ela apresenta abrangência quantitativa e qualitativa (SAKAMOTO; SILVEIRA, 2014), pois, efetuou-se a extração de um determinado volume, cuja capacidade de retenção espectral foi elevada. Qualitativa, pois, os testes com o pigmento flavonílico devem ter qualidades energéticas ainda não pesquisadas. Em relação a natureza, a pesquisa foi aplicada com procedimento experimental (GERHARDT; SILVEIRA, 2009), porque gerou dados que beneficiam a comunidade consumidora de energia. Por fim, o procedimento foi experimental, devido aos processos desenvolvidos para extração, aplicação e testes energéticos quanto à eficácia e eficiência da antocianina na geração de energia.

2.2 OBTENÇÃO DO EXTRATO CONCENTRADO

O extrato da flor *A. blanchetii*, foi obtido em meio alcoólico, a partir da adaptação do trabalho de Fuleki e Francis (1968). Foi pesado 1 g da substância em balança analítica de quatro dígitos, trituradas e maceradas em 30 mL de solvente extrator etanol 95% - HCl 1,5 N (85/15). O material permaneceu em repouso por 48 horas, envolto com papel alumínio a 5 °C para extração. Após repouso, prensou-se o material com bastão de vidro e submetido a filtração simples, em seguida transferiu-se para um balão volumétrico de 50 mL, tendo seu volume completado com solvente extrator etanol 95% - HCl 1,5N (85/15), formou-se então, o extrato concentrado. Este ficou armazenado em frasco âmbar sob refrigeração a 5 °C.

2.3 ESPECTRO DE ABSORÇÃO UV-VISÍVEL

Os espectros de absorção UV-visível dos extratos após diluição em etanol foram submetidos a ultrassonografia em espectrofotômetro UV-VIS da marca HACH DR 3900.

2.4 MONTAGEM DA CÉLULA FOTOQUÍMICA

2.4.1 Preparo do filme nanoparticulado de TiO_2

Para a preparação da solução de dióxido de titânio cristalino, foi pesado em um béquer (10 mL) 5 g de dióxido de titânio (TiO_2) e logo após foi acrescentado 2,5 mL de ácido acético (CH_3COOH) pH 3, com adição lenta, sob agitação e moagem com o uso de um bastão de vidro, para obtenção de uma mistura homogênea. Logo, após, foi deixada em repouso por 5 minutos.

2.4.2 Preparação das Lâminas

As lâminas foram lavadas com água destilada, etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) e água (70:30), duas vezes, logo após foram secadas.

2.4.3 Preparo do Eletrodo Negativo

Uma fita crepe foi colocada em três extremidades da superfície do substrato condutor a fim de controlar a espessura e área do filme. A solução coloidal de nanopartículas de TiO_2 , foi depositada no vidro transparente condutor (eletrodo) através da técnica *doctor blading*, que consiste na utilização de um bastão de vidro, para a distribuição uniforme. Logo após, antes da evaporação da umidade, retirou-se a fita e, em seguida, colocou-se sobre o agitador magnético a uma temperatura de 200 °C, por 10 min, para sinterização.

2.4.4 Preparo do contra eletrodo

Para o preparo do eletrodo positivo, recobriu-se o vidro com uma pasta de carbono, com o auxílio de um lápis de ponta 6B, riscou-se a superfície da lâmina condutora.

2.4.5 Sensibilização do Filme de TiO_2

Esse foi recoberto com uma monocamada do corante em imersão por 20 minutos na solução do corante (obtido através da maceração de 11,103 g das pétalas da flor em 100 mL de água destilada) em uma placa de petri ao abrigo da luz. Após este período, o eletrodo foi lavado cuidadosamente com etanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), com a finalidade de retirar o excesso de corante das extremidades do vidro e deixado secar em ambiente escuro.

2.4.6 Preparo do eletrólito

Para o eletrólito foi utilizado 25 mL de solução de etileno glicol, uma mistura de 0.5 mols (1,66 g) de iodeto de potássio (KI) com 0.05 mol (0,12 g) de iodo resublimado (I₂), depois a mistura foi aquecida com agitação magnética até ser dissolvida totalmente.

2.4.7 Montagem da célula

Antes da montagem das células foram colocados sobre as lâminas de vidro fios de cobre e colados nas extremidades do filme de TiO₂ sensibilizado com o corante, com finalidade de substituir o anodo de dióxido de estanho. Para montagem da célula é necessário juntar o eletrodo que contém a camada de grafite com o filme de TiO₂ sensibilizado com corante. A camada de TiO₂ deve estar em contato com a camada de grafite aplicando-se uma pressão, mas mantendo a integridade mecânica do dispositivo. Duas garras foram usadas para manter a célula fortemente presa. Com o auxílio de uma pipeta de Pasteur, adicionou-se o eletrólito. Foram montadas quatro células fotoquímicas e enumeradas de 1 a 4, as células 1 e 2 com área ativa de 9,88 cm², já as células 3 e 4 com área ativa de 9,69 cm².

2.4.8 Caracterização da célula

Os testes foram realizados com exposição das células ao sol em uma contagem de 30 segundos, sendo possível observar os picos de corrente (mA) e tensão (V). Essas medidas elétricas foram realizadas utilizando um multímetro da marca Minipa, modelo ET-203313.

O desempenho das células fotovoltaicas e dos sistemas solares é caracterizado por três parâmetros: voltagem de circuito aberto (V_{ca}), corrente de curto-circuito (I_{cc}) e o fator de forma (FF). Os parâmetros (Tabela 1), foram executados de acordo com Patrocínio e Iha (2010) e Sonai et al. (2015).

Tabela 1 – Parâmetros para determinação do desempenho de células fotovoltaicas.

PARÂMETRO	NÚMERO	EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO
Potência Máxima (mW/cm ²)	1	$P_{m\acute{a}x.} = I_{m\acute{a}x.} \times V_{m\acute{a}x.}$	Indica o máximo de energia que a célula atinge e capaz de atingir, onde $I_{m\acute{a}x}$ representa a corrente mais elevada e $V_{m\acute{a}x}$ representa a voltagem mais elevada.
Fator de Forma (FF)	2	$FF = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{V_{ca.Icc}}$	Este parâmetro deve estar entre $0 < FF \leq 1$, quanto mais próximo de 1, mais ideal será a célula.
Eficiência da Célula Solar (η)	3	$\eta = \frac{P_{m\acute{a}x.}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{ca.Icc}}{P_{in}}$	Aplicado para mensurar a conversão de energia em eletricidade, onde P_{in} representa a irradiância de luz incidente, sendo padronizada a 100mW/cm ² , de acordo com o espectro de referência terrestre global, AM1.5G.
Densidade de Corrente Curto-Circuito (Jsc)	4	$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A}$	É dada pela razão entre a I_{cc} e a área ativa da célula em mA/cm ² .
O EQC (Eficiência Quântica da Célula)	5	$EQC = \frac{hc}{\lambda e P_{irr}} \frac{J_{cc}}{1 - 10^{A(\lambda)}}$	O EQC é a probabilidade de um fóton que incida sobre a célula, possa contribuir para a corrente desta. Por convenção a medida é efetuada em curto-circuito. Onde: h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda da luz incidente, e é a carga elementar, P_{in} intensidade da luz incidente em W/cm ² , J_{cc} é a densidade de corrente de curto-circuito, em $\mu A/cm^2$, em nm e $A(\lambda)$ é a absorbância no comprimento de onda de irradiação.

Fonte: Autores (2018).

Os resultados apresentados como média (\bar{x}) \pm desvio padrão (σ), assim como gráficos e tabelas foram realizados através do *Software* Microsoft Excel 2016.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 QUANTIFICAÇÃO DO EXTRATO CONCENTRADO

Quanto a quantificação de antocianinas totais, a análise dos dados obtidos indicou que a flor estudada apresenta valores significativos quanto a concentração de Antocianinas Totais (Tabela 2).

Tabela 2 – Antocianinas Totais (AntT) no extrato da espécie *A. blanchetii*. Marabá – PA.

EXTRATO <i>Allamanda blanchetii</i>	ANTOCIANINAS (mg/100g) em 48 horas
1	423,87
2	383,14
3	543,53
4	392,05
5	544,80
6	558,80
7	455,70
8	442,97
9	440,42
10	451,88
\bar{x}	463,716

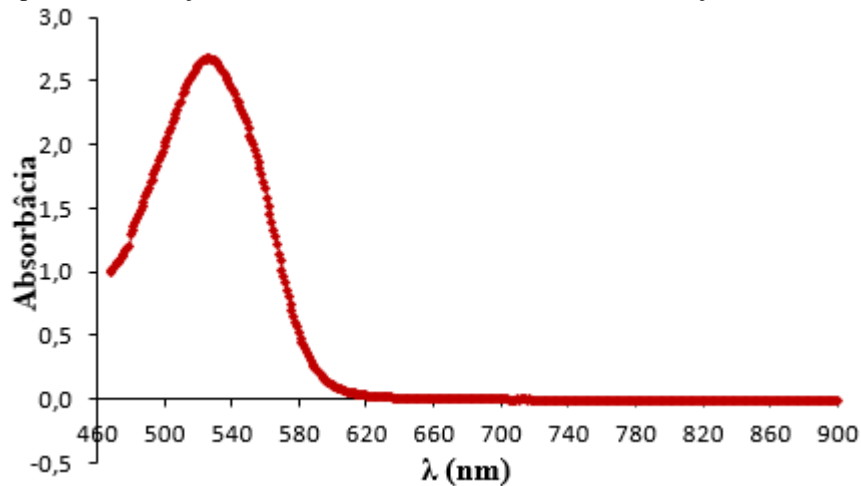
Legenda: \bar{x} – média.
Fonte: Autores (2018).

O estudo efetuado por Macheix, Fleuriet e Billot (1990), no município de Boca Raton, Flórida/EUA, concluí que, para ser considerado com elevado teor de antocianinas, o vegetal deve apresentar teor mínimo de igual a 200 mg/100 g. Na pesquisa realizada em Marabá, os dados obtidos indicaram que a espécie *A. blanchetii* apresentou um elevado teor de antocianinas de \bar{x} 463,716 mg/100 g. Logo, essa espécie apresenta-se dentro dos padrões estabelecidos por Macheix, Fleuriet e Billot (1990).

3.2 ABSORÇÃO DO CORANTE NATURAL DA ESPÉCIE *Allamanda blanchetii* A.DC.

Quanto ao espectro de absorção UV-Vis do extrato de *A. blanchetii*, a análise dos dados obtidos indicou que o comprimento de onda no espectro eletromagnético UV-Vis do corante concentrado dessa espécie, equivale a 620 nm (Figura 4).

Figura 4 – Espectro de absorção UV-VIS do extrato de *A. blanchetii* em solução etanólica. Marabá – PA



Fonte: Autores, 2018.

Em estudo realizado por Fuleki e Francis (1968), no Canadá, o método elaborado por esta evidência que as antocianinas possuem pico em 535 nm. O extrato concentrado da espécie *A. blanchetii* apresentou pico de absorção máxima (535 nm), o que comprova que o extrato natural da espécie estudada possui tais substâncias.

Nos estudos de Pratiwi et al. (2016), na Indonésia, e Dobrzanski et al. (2015), na Polônia, enfatizam que, para um corante ser fotossensibilizante este deve possuir um amplo espectro de absorção que corresponde a região do visível (400 nm – 900 nm), observa-se que o extrato concentrado da espécie *A. blanchetii* possui espectro correspondente a luz visível de 620nm.

3.3 EM RELAÇÃO A CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA

Os dados obtidos e analisados indicaram que, na célula fotoquímica 3, os valores para caracterização elétrica, tendem a elevação (Tabela 3).

Tabela 3 – Caracterização elétrica das células solares representando média (\bar{x}) e desvio padrão (σ), de cada componente mensurado. Marabá – PA.

CÉLULAS	Jsc (mA/cm ²)	Icc (mA)	Vca (V)	Pmáx (mW/cm ²)	FF	η (%)
1	0,24	2,38	0,98	1,16	0,49	11,42
2	0,29	2,93	1	1,49	0,50	14,65
3	0,36	3,50	0,99	1,86	0,54	18,70
4	0,35	3,40	0,96	1,70	0,52	16,97
$\bar{x} \pm \sigma$	0,31 \pm 0,05	3,05 \pm 0,51	0,98 \pm 0,01	1,55 \pm 0,3	0,51 \pm 0,02	15,40 \pm 3,15

Legenda: **Jsc** - Densidade de Corrente Curto-Circuito, **Icc** - Corrente de Curto-Circuito, **Vca** - Voltagem de circuito aberto, **Pmáx** - Potência Máxima, **FF** - Fator de Forma, **η** - Eficiência da célula

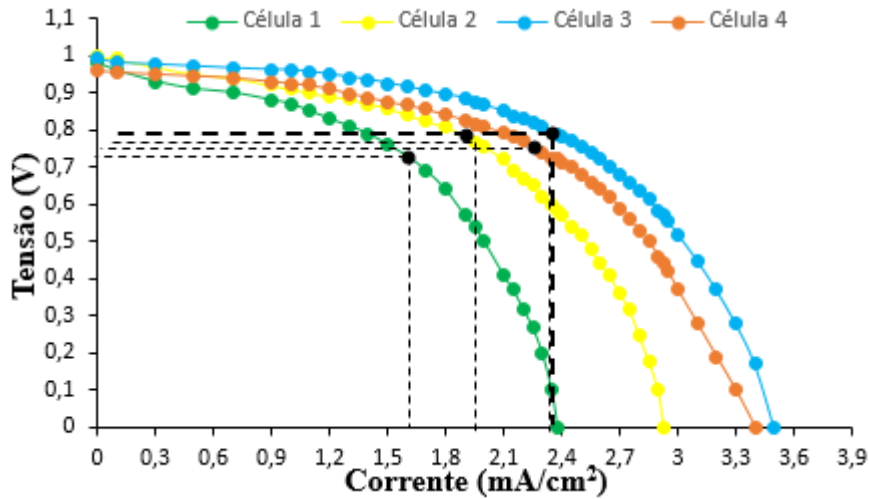
Fonte: Autores, 2018.

No estudo efetuado na Universidade Federal do Ceará (2016), os autores Feitosa, Souza e Cavalcante, utilizaram extratos das pétalas das flores *Nerium oleander* (Jsc= 0,16 a 0,24, Vca= 0,38 a 0,44, FF= 0,35 a 0,43) e *Portulaca grandiflora* (Jsc= 0 a 0,19, Vca= 0,38 a 0,43, FF= 0,40 a 42), em diferentes solventes (etanol, etanol/HCl e etanol/ácido acético). Compararam-se os valores obtidos para a espécie *A. blanchetii*, na célula 3, e estes foram superiores (Jsc = 0,36 mA/cm²; Vca = 0,99 V; FF = 0,54). Isso comprova a caracterização elétrica dessa espécie vegetal, com a substância extratora sendo apenas água destilada.

Quanto ao rendimento (η), a análise dos dados obtidos indicou, na célula 3, valor igual a 18,70% na conversão de energia elétrica. Na pesquisa pioneira realizada por O'Regan e Grätzel (1991) o máximo rendimento obtido nessa conversão foi equivalente a 7,1% a 7,9% para a conversão de energia elétrica. Além disso, a relação custo-benefício econômico e ambiental também é notória, porque Grätzel utilizou o Ru (II) que apresenta custo econômico elevado e escassez na natureza, cuja extração provoca sérios danos ambientais (supressão vegetal, revolvimento do solo), em detrimento ao baixo custo do extrato de *A. blanchetii* que é um corante natural, estão disponíveis a um baixo custo econômico e são de fácil preparação, os solventes utilizados não acarretam riscos ao meio ambiente.

Em relação a mensuração da curva tensão-corrente (Figura 5), os dados obtidos indicaram que a célula 3 mostrou tendência para maior voltagem (0,99 V), e mais próximo da figura retangular determinada pelo Fator de Forma ($0 < FF \leq 1$). Como o valor obtido foi equivalente a 0,54, ela se aproxima da denominada “célula ideal”.

Figura 5 – Dados comparativos entre tensão vs corrente de cada célula. Marabá – PA.

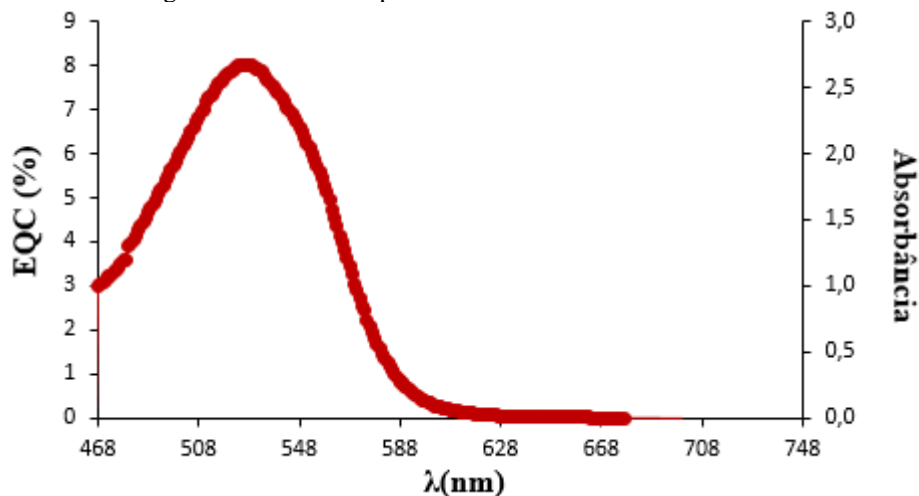


Fonte: Autores, 2018.

No estudo realizado por Abdou et al. (2013), no Egito, os autores utilizaram o corante natural, extraído da espécie *Hibiscus sabdariffa* L. ($V_{oc} = 0,5$; $FF=0,42$), os corantes sintéticos cumarina ($V_{oc} = 0,2$; $FF= 0,38$) e Remazole Red RR-133 ($V_{oc} = 0,4$; $FF=0,32$), utilizados na indústria têxtil. Ao comparar estes valores aos valores de corrente vs tensão (J_{sc} e I_{cc}), nota-se que, em todas as células fotoquímicas sensibilizadas com o corante de *A. blanchetii*, estes são mais elevados. Isso comprova que, mesmo com o emprego de outros tipos de corantes sintéticos, as antocianinas apresentam maior desempenho na conversão de energia elétrica.

Em relação a Eficiência Quântica da Célula (EQC), o corante da espécie *A. blanchetii* possui uma alta eficiência de conversão de fótons incidentes em corrente elétrica, com EQC de 8,17% (Figura 6).

Figura 6 – Eficiência quântica da célula solar. Marabá – PA.



Fonte: autores, 2018.

A absorção de luz incidida obtida neste estudo foi superior aos dados obtidos em estudo realizado na Índia, por Manna et al. (2017), que obtiveram dados de EQC de 8%, 11% e 14% para as espécies vegetais *Ixora chinensis*, *Hibiscus rosa-sinensis* e *Clitoria ternatea*, respectivamente.

4 CONCLUSÕES

A quantificação das antocianinas totais na espécie *Allamanda blanchetii*, espectro de absorção UV-Vis do corante e da caracterização elétrica, foi possível comprovar a capacidade do corante extraído da espécie *A. blanchetii* para sensibilização de células fotovoltaicas orgânicas por corante vegetal.

As antocianinas totais apresentaram valores entre 383,14 e 558,80 mg/100g, que são superiores ao valor ideal da substância. A análise espectrométrica UV-Vis comprovou que a espécie *A. blanchetii* possui elevada quantidade de antocianinas e que o espectro de absorção do corante está presente na região visível sendo, portanto, viável para aplicação em CSSC.

Como as antocianinas são as responsáveis pela liberação de elétrons através da absorção de fótons, ou seja, seu teor influencia diretamente na injeção de elétrons, dessa forma pode-se dizer que o extrato da espécie *A. blanchetii* possibilita uma maior eficiência na injeção de elétrons, pois como elucidado anteriormente a mesma possui elevado teor de AntT.

As células apresentaram eficiência máxima com média de 15,4%; com isso, é possível afirmar que os resultados obtidos foram satisfatórios, pois a célula fotovoltaica apresentou maior eficiência de conversão de energia que a célula fotovoltaica de Grätzel e maior desempenho do que antocianinas presentes em outras espécies. Em outras palavras, foi possível concluir que a associação do corante da espécie de estudo ao semicondutor de TiO_2 aumentou a faixa de absorção da luz solar.

Por outro lado, é possível que a célula não tenha atingido seu potencial máximo, visto que o vazamento do eletrólito é fator limitante ao funcionamento da célula e que não foi possível vedá-la de forma eficaz. Ainda, observou-se que o tipo de solvente utilizado na extração do corante para sensibilização do filme de TiO_2 interfere na eficiência final da célula, pois este não suporta um solvente alcoólico ou ácido, sendo assim, comprometem a integridade física do dispositivo.

Espera-se que em trabalhos futuros seja possível atingir uma eficiência ainda maior, realizar a elaboração de células em paralelo, aumentado a superfície do substrato e empregando um método mais eficiente para vedação da célula, para que não haja evaporação ou vazamento do eletrólito.

REFERÊNCIAS

- ABDOU, E. M. et al. Photostability of low cost dye-sensitized solar cells on natural and synthetic dyes. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. v, 115, p. 202-207, nov. 2013.
- ARAÚJO, L. D. A.; QUIRINO, Z. G. M.; MACHADO, I. C. Fenologia reprodutiva, biologia foral e polinização de *Allamanda blanchetii*, uma Apocynaceae endêmica da Caatinga. *Revista Brasil. Bot.*, V.34, n.2, p.211-222, abr.-jun. 2011.
- CORDEIRO, G. M.; MENEZES, M. O problema energético do Brasil. 2013. Disponível em <<https://www.ime.usp.br/~abe/lista/msg08620.html>>. Acesso em 25.out.2018
- DOBRZAŃSKI, L. A. et al. The influence of natural and synthetic dyes on the absorbance of nanocrystalline TiO₂ used in dye sensitized solar cells. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, v. 69, n. 2, p. 53--58, apr. 2015.
- FEITOSA, A. V.; SOUSA, J. H. A.; CAVALCANTE, F. S. Á. Células solares sensibilizadas com corantes naturais extraídos das plantas *Nerium oleander* e *Portulaca grandiflora*. *Ciência e Natura*, v.38, n.3, p. 1191-1196, set. /dez. 2016.
- FULEKI, T; FRANCIS, F. J. Quantitative Methods for Anthocyanins. *Journal of food Science*, v. 33, p. 72-77, jan. 1968.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. *Métodos de Pesquisa*. 1ed. Porto Alegre: UFRGS, 2009.
- GRÄTZEL, M. Photoelectrochemical cells. *Nature*, v. 414, n. 6861, p. 338-344, nov. 2001.
- _____. Dye-sensitized solar cells. *J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.*, v. 4, p. 145-153, oct. 2003.
- GUIMARÃES, W.; ALVES, M. I. R.; ANTONIOSI FILHO, N. R. A. Antocianinas em Extratos Vegetais: Aplicação em Titulação Ácido-Base e Identificação via Cromatografia Líquida/Espectrometria de Massas. *Quim. Nova*, v. 35, n. 8, p. 1673-1679, jul. 2012.
- MACHEIX, J.J.; FLEURIET, A.; BILLOT, J. *Fruit Phenolics*. Boca Raton, Flórida, EUA: CRC Press, Inc, p. 378, 1990.
- MANNA, A. et al. Fabrication and Characterization of Natural Dye Sensitized Solar Cell based on CdSe nanorods. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*, v. 9, n. 6, p. 22-27, nov. /dec. 2017.
- MATIAS-PEREIRA, J. *Manual de metodologia da pesquisa científica*. 4ed. São Paulo: Atlas, ago. 2016.
- MICROSOFT Excel for Windows 10. Version 4.1. [S.I.]: Microsoft Corporation, 2016. 1 CD-ROM.
- O'REGAN, B.; GRÄTZEL, M. A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature*, v. 353, n. 6346, p. 737-740, oct. 1991.

PARÁ. GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. Estatística Municipal: Marabá. 2011. Disponível em: <http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/maraba.pdf>. Acesso em: 05 out. 2018

PATROCÍNIO, A. O. T.; IHA, N. Y. M. Em Busca Da Sustentabilidade: Células Solares Sensibilizadas Por Extratos Naturais. *Quim. Nova*, v. 33, n. 3, p. 574-578, fev. 2010.

PEREIRA JUNIOR, A.; CAMPOS, R. A. S. Análise comparativa das práticas ambientais utilizadas no ensino da Educação Ambiental em escolas públicas. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, v. 13, n. 1, p. 364-396, jan. /mar. 2018.

PRATIWI, D. D. et al. Optical properties of natural dyes on the dye-sensitized solar cells (DSSC) performance. In: *Journal of Physics: Conference Series*, v. 776, n. 1, p. 012007, aug. 2016.

SAKAMOTO, C. K.; SILVEIRA, I. O. Como fazer projetos de iniciação científica. São Paulo: Paulus, 2014.

SATAPATHI, S. et al. Performance enhancement of dye sensitized solar cells by incorporating graphene sheets of various sizes, *Applied Surface Science*, v. 314, p. 638-641, sep. 2014.

SAWHNEY, N.; RAGHAV, A.; SATAPATHI, S. Utilization of Naturally Occurring Dyes as Sensitizers in Dye Sensitized Solar Cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, v. 7, n. 2, p. 539-544, mar. 2017.

SONAI, G. G. et al. Células Solares Sensibilizadas por Corantes Naturais: Um Experimento Introdutório sobre Energia Renovável para Alunos de Graduação. *Quim. Nova*, v. 15, n. 00, p. 1-9, set. 2015.

TOBIN, L. et al. Characterising dye-sensitised solar cells. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, v. 122, Issue 14, p. 1225-1230, jul. 2011.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. Energia, Meio Ambiente e Economia: O Brasil no Contexto Mundial. *Quim. Nova*, v. 32, n. 3, p. 757-767, abr. 2009.