

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DISSERTAÇÃO

**PREPARAÇÃO DE FOTOELETRODO UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO
APLICADO EM CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR CORANTE**

GLEYDIS MANALIG PEREIRA DANTAS

Campina Grande – PB

2024

GLEYDIS MANALIG PEREIRA DANTAS

**PREPARAÇÃO DE FOTOELETRODO UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO
APLICADO EM CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR CORANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área: Fenômenos de superfície e reações

Orientador: Prof Dr Eudésio Oliveira Vilar

Campina Grande- PB

2024

D192p

Dantas, Gleydis Manalig Pereira.

Preparação de fotoeletrodo utilizando óxido de grafeno em célula solar sensibilizada por corante / Gleydis Manalig Pereira Dantas – Campina Grande, 2024.

59 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. Eudésio Oliveira Vilar."

Referências.

1. Energia. 2. Contraeletrodo. 3. Eficiência de Conversão Emergente. 4. Células Solares Sensibilizada por Corante. 5. Óxido de Grafeno. I. Vilar, Eudésio Oliveira. II. Título.

CDU 66.0:620.92(043)

GLEYDIS MANALIG PEREIRA DANTAS

**PREPARAÇÃO DE FOTOELETRODO UTILIZANDO ÓXIDO DE
GRAFENO APLICADO EM CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR
CORANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Aprovado em: 29/02/2024

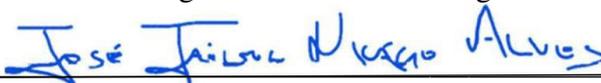
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Eudésio Oliveira Vilar- UFCG



Prof. Dr. José Etimógenes Duarte Vieira Segundo- UFPB



Prof. Dr. José Jailson Nicacio Alves -UFCG



Prof. Dr. Sidinei Kleber da Silva- UFCG



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA QUÍMICA
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900
Telefone: (83) 2101-1100
Site: <http://cct.ufcg.edu.br>

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO **GRAU DE MESTRE** EM ENGENHARIA QUÍMICA, REALIZADA EM 29 DE FEVEREIRO DE 2024 (Nº 525)

CANDIDATO(A): **Gleydis Manalig Pereira Dantas**. COMISSÃO EXAMINADORA: Eudésio Oliveira Vilar, Prof. Dr., UFCG, **Orientador**, José Jailson Nicacio Alves, Prof. Dr., UFCG/ Examinador Interno, Sidinei Kleber da Silva, Prof. Dr., UFCG/ Examinador Externo, José Etimógenes Duarte Vieira Segundo, Prof. Dr., UFPB/ Examinador Externo. TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: “PREPARAÇÃO DE FOTOELETRODO UTILIZANDO ÓXIDO DE GRAFENO APLICADO EM CÉLULA SOLAR SENSIBILIZADA POR CORANTE”. ÁREA DE CONCENTRAÇÃO Desenvolvimento de Processos Químicos. HORA DE INÍCIO: **14:00 Horas** – LOCAL: **por videoconferência**. Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, o(a) candidato(a) foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização, no tema de sua dissertação, obtendo conceito **APROVADO**. Face à aprovação, declara o(a) orientador, achar-se a examinada, legalmente habilitado(a) a receber o **Grau de Mestre Engenharia Química**, cabendo a Universidade Federal de Campina Grande, como de direito, providenciar a expedição do Diploma, a que o(a) mesmo(a) faz jus. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, que é assinada por mim, Maricé Pereira de Araújo – Secretária do PPGEQ, os membros da Comissão Examinadora e o(a) candidato(a). Campina Grande, 29 de fevereiro de 2024.

Maricé Pereira de Araújo

Secretária

Eudésio Oliveira Vilar, Prof. Dr., UFCG

Orientador

José Jailson Nicacio Alves, Prof. Dr., UFCG

Examinador Interno

Sidinei Kleber da Silva, Prof. Dr., UFCG

Examinador Externo

José Etimógenes Duarte Vieira Segundo, Prof. Dr., UFPB

Examinador Externo

Gleydis Manalig Pereira Dantas

Candidata



Documento assinado eletronicamente por **SIDINEI KLEBER DA SILVA, PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/02/2024, às 17:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE JAILSON NICACIO ALVES, PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/02/2024, às 17:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **EUDESIO OLIVEIRA VILAR, PROFESSOR 3 GRAU**, em 29/02/2024, às 18:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ ETIMÓGENES DUARTE VIEIRA SEGUNDO, Usuário Externo**, em 29/02/2024, às 18:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARICE PEREIRA DA SILVA, SECRETÁRIA**, em 01/03/2024, às 09:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gleydis Manalig Pereira Dantas, Usuário Externo**, em 01/03/2024, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4238435** e o código CRC **B3B668A5**.

Referência: Processo nº 23096.011212/2024-81

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre estar ao meu lado segurando a minha mão para não desistir e me dando forças para suportar todas as adversidades, é por Ele que cheguei até aqui.

Minha amada, Vó Lalá, que sonhava em me chamar de doutora Gleydis, apesar da senhora não estar mais presente neste mundo sinto o seu apoio, orgulho e incentivo de onde estás, eu te amo.

Ao meu companheiro, Iuri, que sempre esteve comigo durante todo o percurso me ajudando e apoiando.

Aos meus orientadores, Dr Eudésio e Dr Etimógenes por todos ensinamentos, paciência e dedicação para realização deste trabalho.

A CAPES e FAPESQ, por todo o fomento fornecido para que esta pesquisa tivesse continuidade.

DANTAS, GLEYDIS MANALIG PEREIRA. **Preparação de Fotoeletrodo Utilizando Óxido de Grafeno em Célula Solar Sensibilizada por Corante**. 2024. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2024.

RESUMO

Células solares sensibilizadas por corantes são tecnologias emergentes muito promissoras por apresentar eficiências teóricas maiores do que as células solares já existentes no mercado, além do mais, promete reduzir significativamente os gases poluentes, causado pelo uso exacerbado de fontes fósseis, ou seja, as células solares sensibilizadas por corante têm a proposta ambientalmente amigável. Neste trabalho será apresentada a preparação de uma célula solar sensibilizada por corante utilizando o óxido de grafeno como um componente para melhorar a eficiência de conversão energética, material bastante promissor devido suas excelentes propriedades como por exemplo: resistência optoeletrônica, mecânica, térmica e química, o óxido de grafeno será utilizado como contraeletrodo. A caracterização dessas células se dá pela curva de corrente-potencial I-V, a partir das quais, os parâmetros de eficiências são obtidos. Os testes serão em dois corantes como sensibilizadores do filme de dióxido de titânio que compõe a célula: N3 e N719. Este experimento se mostrou eficaz para o desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corante (CSSC).

Palavras chaves: Energia, Contraeletrodo, Eficiência.

DANTAS, GLEYDIS MANALIG PEREIRA. **Preparação de Fotoeletrodo Utilizando Óxido de Grafeno em Célula Solar Sensibilizada por Corante**. 2024. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2024.

ABSTRACT

Dye-sensitized solar cells is a very promising emerging technology because it presents greater theoretical efficiencies than solar cells already on the market, in addition, it promises to significantly reduce polluting gases, that is, environmentally friendly. In this work, the preparation of a dye-sensitized solar cell will be presented with a very promising material due to its excellent properties, such as: optoelectronic, mechanical, thermal and chemical resistance, graphene oxide used as a counter electrode and which has a wide potential to replace or modify the traditional materials that are commonly used in the manufacture of solar cells. These cells are characterized by the I-V current-potential curve, highlighting the values obtained from the parameters with emphasis on the efficiencies found using two sensitizers, dye N3 and dye N-719, which were used to sensitize the TiO₂ films that make up the photoelectrode of the cell. This experiment proved effective for the development of dye-sensitized solar cells (DSSC).

Keywords: Energy, Counter electrode, efficiency.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Silício monocristalino e o produto final..... | 19 |
| Figura 2: Junção p-n..... | 19 |
| Figura 3: Funcionamento de uma célula de junção p-n..... | 20 |
| Figura 4: Diagrama de energia | 20 |
| Figura 5: Painel de filme fino de silício amorfo..... | 21 |
| Figura 6: Representação de uma célula solar sensibilizada por corante..... | 22 |
| Figura 7: Curva de corrente vs. Potencial vs. Potência de uma célula solar sensibilizada por corante..... | 23 |
| Figura 8: Representação do grafeno | 24 |
| Figura 9: Representação do gap do Grafeno | 25 |
| Figura 10: Ilustração do óxido de grafeno os átomos de carbono estão ilustrados de preto e os oxigênios de vermelho | 25 |
| Figura 11: Estrutura do corante N3..... | 26 |
| Figura 12: Estrutura do corante N-719 | 27 |
| Figura 13: Sólido resultante após filtração..... | 28 |
| Figura 14: Dispersão do óxido de grafeno | 28 |
| Figura 15: Fluxograma da síntese do óxido de grafeno | 29 |
| Figura 16: Preparação da célula CSSC | 30 |
| Figura 17: Imagens fotópticas indicando os diferentes locais que o material grafite foi analisado no espectro Raman | 31 |
| Figura 18: Espectro Raman do grafite das respectivas amostras ópticas..... | 32 |
| Figura 19: Espectro Raman..... | 33 |
| Figura 20: Amostras ópticas indicando onde o óxido de grafeno foi analisado no espectro | 33 |
| Figura 21: Espectro Raman do óxido de grafeno | 34 |
| Figura 22: Espectro Raman do óxido de grafeno | 35 |
| Figura 23: Teste sem exposição I vs. E vs. P corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca | 36 |
| Figura 24: Curva I vs. E vs. P 1 hora de exposição corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca..... | 37 |
| Figura 25: Curva I vs. E vs. P 2 horas de exposição corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca..... | 38 |
| Figura 26: Resultados da curva I vs. E do corante N3 pasta opaca comparação das três exposições | 39 |
| Figura 27: comparação dos resultados das três exposições I vs. P corante N3 e pasta opaca | 39 |
| Figura 28: Curva I vs. E vs. P sem exposição corante N-719 e a pasta opaca..... | 40 |
| Figura 29: Curva I vs. E vs. P corante N-719 1 hora de exposição pasta opaca | 41 |
| Figura 30: Curva I vs. E vs. P corante N-719 pasta opaca 2 horas de exposição..... | 42 |
| Figura 31: Comparação I vs. E corante N-719 e a pasta opaca..... | 43 |
| Figura 32: comparação do corante N-719 com a pasta opaca três exposições..... | 44 |
| Figura 33: Curva I vs E sem exposição pasta de TiO ₂ transparente | 45 |
| Figura 34: Curva I vs E 1 hora de exposição pasta TiO ₂ transparente com o corante N-719..... | 46 |
| Figura 35: Curva I vs E 2 horas de exposição pasta TiO ₂ transparente | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 36: curva I vs E comparação de resultados sem exposição três exposições | 48 |
| Figura 37: Curva E vs. P comparação corante N-719 três exposições pasta transparente | 49 |
| Figura 38: Curva I vs. E vs. P sem exposição corante N-3 e a pasta transparente | 50 |
| Figura 39: curva I vs. E vs. P corante N-3 e a pasta transparente 1 hora de exposição . | 51 |
| Figura 40: Curva I vs. E. vs. P corante N-3 e a pasta transparente 2 horas de exposição | 52 |
| Figura 41: Curva I vs. E corante N-3 e a pasta transparente comparação das três exposições | 53 |
| Figura 42: Curva de comparação E vs. P com os tempos de 1 hora, 2 horas e sem exposição corante N-3 pasta transparente | 54 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Parâmetros do corante N3 e a pasta opaca comparação sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição | 36 |
| Tabela 2: Parâmetros obtidos da célula sem exposição solar corante N-719 e pasta opaca | 41 |
| Tabela 3: Parâmetros pasta transparente com o corante N-719 e a pasta transparente sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição..... | 46 |
| Tabela 4: Parâmetros fotovoltaicos corante N-3 pasta de dióxido de titânio transparente sem exposição..... | 51 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. OBJETIVO GERAL | 16 |
| 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 3.1 Energia não renovável e renovável | 17 |
| 3.2 Energia solar fotovoltaica | 17 |
| 3.3 Células solares de primeira geração | 18 |
| 3.4 Células solares de segunda geração | 21 |
| 3.5 Células de terceira geração | 21 |
| 3.6 Células solares de terceira geração: Células solares sensibilizadas por corante (CSSC) | 22 |
| 3.7 Grafeno | 24 |
| 3.8 Óxido de grafeno | 25 |
| 3.9 Corante | 26 |
| 4 METODOLOGIA | 27 |
| 4.1 Síntese óxido de grafeno | 27 |
| 4.2 Fluxograma da síntese do óxido de grafeno | 28 |
| 4.3 Preparação do eletrodo | 29 |
| 4.3 Caracterizações do eletrodo | 30 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 30 |
| 5.1 Caracterização do material grafite espectroscopia Raman | 30 |
| 5.2 Espectroscopia Raman óxido de grafeno | 33 |
| 5.3 Eficiências energéticas pasta de dióxido de titânio opaca corante N-3 | 35 |
| 5.4 Eficiências energética pasta de dióxido de titânio opaca corante N-719 | 40 |
| 5.5 Eficiência pasta de dióxido de titânio transparente com o corante N-719 | 44 |
| 5.6 Eficiências pasta de dióxido de titânio transparente corante N-3 | 49 |
| 6 CONCLUSÃO | 55 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 56 |

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos são de grande destaque em todo território mundial, assim como, todas as vantagens relacionadas, por exemplo: a energia elétrica, presente comumente no dia a dia de todos e é notória a dependência da humanidade acerca disto. Entretanto, estes avanços trouxeram consigo não apenas vantagens, mas também impactos negativos, diretamente relacionado com os combustíveis fósseis pois além de prejudiciais ao meio ambiente não são inesgotáveis, ou seja, são fontes não renováveis, com previsão de esgotamento que geram gases de efeito estufa prejudicando o meio ambiente e contribuindo para aumentar o aquecimento global. Sendo assim, visando amenizar esses impactos negativos novas fontes de energia estão sendo cada vez mais estudadas, como as fontes de energia renováveis dentre as energias renováveis; solar e a eólica estão ganhando cada vez mais destaque (FAN, 2023).

Além disso, devido à crescente demanda por energia, a busca por fontes renováveis aumentou e uma que está sendo bastante explorada é o sol. Basicamente, a utilização do recurso energético solar, consiste na conversão da energia emitida pelo sol em energia térmica ou diretamente em energia elétrica (processo fotovoltaico). Neste contexto, a célula fotovoltaica apresenta grandes vantagens, pois faz uso de um recurso inesgotável de energia que é o sol, apresenta fácil manutenção e instalação e pode ser utilizada em locais de difícil acesso (PEREIRA, et al, 2017).

É válido salientar a extrema importância e potencial de exploração do sol para geração de energia, pois a potência total proveniente da energia solar que atinge a superfície da Terra é de 120.000TW (tera watts) ao ano (COUTINHO, 2014). Atualmente o mundo consome continuamente cerca de 15 TW durante o ano. Em 2050, espera-se uma população de 9 bilhões de pessoas, acompanhada por milhares de novas indústrias e serviços que exigirão nada menos que 30TW anualmente. No final do século, a demanda será próxima de 50TW anuais (SOUZA, 2011).

A conversão de energia solar em energia elétrica, é obtida pelo efeito fotovoltaico, que consiste em transformar fótons em energia elétrica, ou seja, luz solar em energia elétrica. Este efeito foi inicialmente observado em 1839, por Edmond Becquerel, que produziu corrente elétrica ao incidir luz sobre eletrodos mergulhados em eletrólito. Essa tecnologia evoluiu passando por diferentes gerações de células solares de primeira

geração (silício monocristalino e silício policristalino), de segunda geração (com silício amorfo) e, na década de 90, foi publicado por Michael Grätzel e colaboradores, o desenvolvimento de Células Solares Sensibilizadas por Corantes (CSSC's), que se encaixam nas células de terceira geração (CHRIST, et al, 2019).

O crescimento de estudos de novas células solares, como as de terceira geração, tem o intuito de produzir sistemas com maiores eficiências se comparados com as células de primeira e segunda geração, que dominam o mercado solar, mas que já atingiram suas eficiências máximas. Dentre as células de terceira geração, pode-se citar: células solares sensibilizadas por corante (CSSC, ou DSSC, *Dye Sensitized Solar Cells*), células sensibilizadas por pontos quânticos (CSPQ, ou QDSC, *Quantum Dot-Sensitized Solar Cells*) e as células de perovskitas (CSPK, ou PKSC, *Perovskite Solar Cells*) (TRACTZ, 2020).

Em uma célula solar sensibilizada com corante, o processo se dá de maneira simples: ocorre o depósito de um óxido semiconductor, sobre substrato vítreo condutor. Após, a impregnação com o corante ter ocorrido, todas as áreas ativas disponíveis são preenchidas. A junção destes materiais forma o anodo da célula, responsável por fornecer os elétrons que percorrem o circuito externo do sistema. O cátodo tem a função de receber esses elétrons e, por processos difusionais na presença de espécies intermediadores óxi-redutoras, regeneram o corante, formando assim um ciclo de injeção/regeneração de cargas que propicia a conversão de energia solar a energia elétrica (TRACTZ, 2020).

O grafeno tem uma estrutura bidimensional, que consiste em uma folha plana de átomos de carbono, formando uma camada monoatômica. Sua estrutura eletrônica resulta em propriedades como: resistência mecânica maior que a do aço, mobilidade eletrônica mais elevada que o silício, condutividade térmica mais alta que o cobre, área superficial maior que a observada para o grafite, ou seja, excelentes propriedades eletrônicas, mecânicas, ópticas e térmicas (SEGUNDO; VILAR, 2016). Por isso, tem sido amplamente explorado para as aplicações em eletrônica, catálise, sensores e conversão e armazenamento de energia, a produção em massa de materiais de grafeno a baixos custos é um dos requisitos essenciais. Na verdade, as folhas de grafeno já existem na natureza e precisamos esfoliar de seus precursores. A esfoliação do grafite em grafeno pode ser realizada física ou quimicamente (CHEN, 2013). Os derivados do grafeno, como o óxido de grafeno (GO), que é uma folha de grafeno funcionalizada com oxigênio, foram

amplamente explorados devido à sua alta solubilidade em solventes orgânicos, o que os torna compatíveis com a síntese fácil e em larga escala (MUCHUWENI, et al, 2020).

Sendo assim, a dispersão do óxido de grafeno (GO) foi escolhida para ser utilizada na célula solar sensibilizada por corante pois apresenta uma excelente dispersão em água e o material é um bom condutor, condição importante para garantir a regeneração do corante (RAZAQ, 2023) já que as células solares sensibilizadas por corantes da terceira geração são constituídas por três partes principais: um fotoeletrodo, uma solução eletrolítica e um contra-eletrodo. O fotoeletrodo é composto por uma placa de vidro onde é depositado um óxido transparente condutor, TCO (do inglês *transparent conductor oxide*), substrato este que é posteriormente revestido por um filme de nanopartículas de um óxido semiconductor, que são sensibilizadas por um corante. Este absorve a luz incidente, transferindo elétrons para as nanopartículas. Um par redox contido no eletrólito o iodo, faz a redução do corante oxidado e é regenerado no contra-eletrodo que seria a suspensão de óxido de grafeno (GO) (COUTINHO, 2014).

2. OBJETIVO GERAL

Desenvolver um eletrodo a ser utilizado como um dos componentes de uma célula fotovoltaica de terceira geração através da incorporação de óxido de grafeno à sua composição.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Aplicar o método de Hummers modificado e aperfeiçoado para produção do material ativo;
- Estudar as principais técnicas eletroquímicas para caracterização de eletrodos;
- Desenvolver um procedimento para montagem da célula solar;
- Obter propriedades e parâmetros característicos de células solares;
- Avaliar a eficiência do dispositivo quanto à conversão de energia;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Energia não renovável e renovável

A energia é essencial nas atividades do dia a dia depois da descoberta da eletricidade, a demanda energética despencou desde a revolução industrial, acarretando no consumo desenfreado das energias fósseis como: carvão e petróleo, que desencadeou uma série de problemas ambientais como o aumento de emissões de poluentes. Assim como, com o uso exacerbado de energias fósseis para suprir a demanda energética que cresce a cada ano, surgiu outro problema, por se tratar de uma fonte não renovável há o risco a longo prazo do suprimento acabar. Portanto, a premissa de poluição ambiental e previsão de esgotamento por parte dos recursos não-renováveis levantou questões sob a necessidade de mudar esses padrões estimulando as energias ambientalmente amigáveis e sem previsão de esgotamento como as energias renováveis (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

Visando a diminuição dos impactos negativos ao meio ambiente e diminuir a dependência do petróleo, as energias renováveis surgem como alternativa para reduzir os efeitos dessa crise (BERMANN, 2008). As denominadas fontes renováveis, por exemplo: hidráulica, biomassa, solar, eólica, geotérmica, atualmente respondem por 47,4 % da oferta energética brasileira, a hidráulica com 12,5%, eólica 2,3% e solar 1,2% (BEN,2022). No cenário mundial, o Brasil se destaca por ter sua matriz de geração de energia elétrica fortemente baseada em fontes renováveis, com preponderância da hidroeletricidade. Além da hídrica, outras fontes renováveis se sobressaem no País, como a biomassa, a eólica e a solar (BEZERRA, 2021).

3.2 Energia solar fotovoltaica

A energia solar tem o sol como fonte inesgotável térmica e conseqüentemente alta disponibilidade para converter energia térmica em energia elétrica, o potencial de conversão é muito superior à demanda global de energia elétrica. Sendo assim, uma alternativa extremamente promissora para fornecer energia limpa e com grande potencial de expansão pois à medida que as tecnologias fazem uso da energia solar se tornam mais competitivas ante outras opções, a participação dessa fonte na matriz elétrica tende a crescer. Isto já se verifica em diversos países, inclusive no Brasil. Para o futuro, as

projeções indicam aumento expressivo da participação da fonte solar na matriz de geração de energia elétrica mundial (BEZERRA, 2021).

A energia solar fotovoltaica pode ser definida como a energia gerada através da conversão direta da energia solar em eletricidade. O dispositivo conhecido como célula fotovoltaica atua utilizando o princípio do efeito fotoelétrico ou fotovoltaico (IMHOFF, 2007). Porém, há diferença entre o efeito fotovoltaico e fotoelétrico o chamado efeito fotovoltaico consiste na geração de energia elétrica a partir da exposição de um material semicondutor a luz, ou seja, a partir deste efeito é possível gerar energia elétrica descoberto inicialmente por Edmond Becquerel, ao incidir luz sobre eletrodos em 1839 (SEVERINO, OLIVEIRA 2010), o efeito fotovoltaico é gerado através da absorção da luz solar, ocasionando uma diferença de potencial na estrutura do material semicondutor. Portanto, “Uma célula fotovoltaica não armazena energia elétrica. Apenas mantém um fluxo de elétrons num circuito elétrico enquanto houver incidência de luz sobre ela”. Entretanto, o efeito fotoelétrico descoberto por Albert Einstein, se baseia em emissões de elétrons em determinado material, quando exposto a radiação da luz, a luz se propaga como partículas hoje conhecidas como fótons, apesar de haver semelhanças os dois efeitos são bem diferentes, assim como, possui aplicações muitas vezes distintas (NASCIMENTO, 2014).

Levando em conta o cenário mundial para produção de energia solar utilizando os módulos solares fotovoltaicos a empresa alemã Associação Solar BSW, alega o quanto a energia solar é favorável pois, anualmente, tem capacidade de gerar cerca de 100 GW de energia elétrica, e conseqüentemente evitar a emissão de 70 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera (BSW, 2015). Isto demonstra o potencial que os projetos solares fotovoltaicos podem alcançar de acordo com a tecnologia disponível, e ainda diminuir significativamente os impactos ambientais. Existem três tecnologias aplicadas para a produção de células fotovoltaicas, classificadas em três gerações de acordo com seu material e suas características. Comumente classificadas como de primeira, segunda e terceira geração (LANA, et al. 2015).

3.3 Células solares de primeira geração

Células de junção p-n de silício monocristalino ou multicristalino são os conversores fotovoltaicos mais comuns e mais utilizados comercialmente. O silício é o material

utilizado nessas células e, apesar de abundante na superfície terrestre, as várias etapas de processamento e a necessidade de elevada pureza dos cristais de silício encarecem o custo energético de cada watt produzido (VITORETI, et al 2017). Figura 1, ilustra o silício monocristalino e o painel fotovoltaico de silício monocristalino.

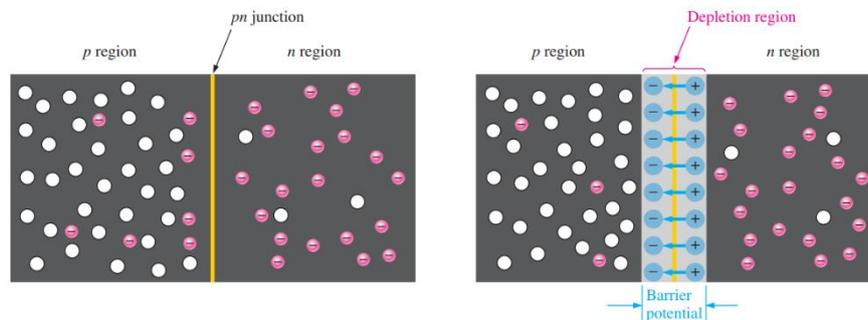
Figura 1: Silício monocristalino e o produto final



Fonte: (MACHADO, 2015).

As células solares de silício são células de junção p-n. Em uma junção P-N de silício, as cargas positivas (lacunas) do lado P da junção são atraídas pelo lado N da junção e vão para o lado N da junção, enquanto as cargas negativas (elétrons) do lado N da junção são atraídas para o lado P da junção. Criando um campo elétrico ou barreira de potencial na região de depleção ilustrado na figura 2 (ELÉTRICA LIBRARY, 2017).

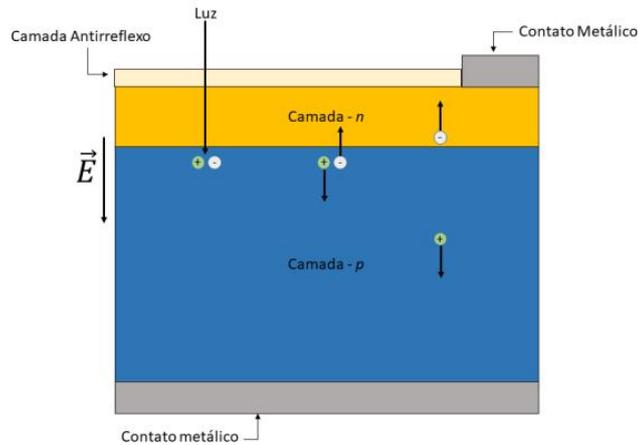
Figura 2: Junção p-n



Fonte: FLOYD, 2012.

Quando a luz incide sobre a junção P-N, os elétrons ganham energia para ir da camada N até P e se tornam elétrons livres, em caso de um circuito fechado cria-se uma corrente elétrica, como demonstra na figura 3 (ELÉTRICA LIBRARY, 2017).

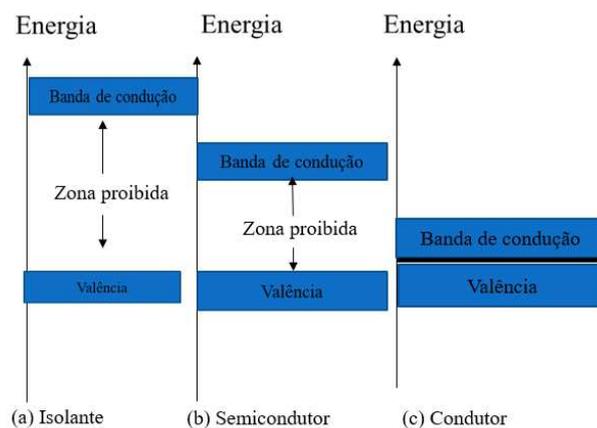
Figura 3: Funcionamento de uma célula de junção p-n



Fonte: CUNHA, 2018.

Essas células de junção p-n representado na figura 3, começaram a apresentar problemas devido aos cálculos teóricos sobre a conversão máxima de energia obtida, o limite termodinâmico para a eficiência de conversão de energia luminosa em eletricidade é cerca de 32,9%. Esse limite, conhecido como limite de Shockley e Queisser, origina do fato de que os fótons com energias abaixo do *bandgap* ou banda proibida, não são absorvidos, enquanto fótons com energias acima do *bandgap* têm parte desta energia dissipada, principalmente na forma de calor, o diagrama da figura 4 demonstra esse efeito (VITORETI, et al. 2017).

Figura 4: Diagrama de energia



Fonte: Adaptado de FLOYD, 2012.

Portanto, o *bandgap* é o que acaba limitando as eficiências da célula de junção p-n basicamente o *bandgap*, é a diferença entre dois níveis de energia chamado de “zona proibida”. Porém, mesmo que um elétron não possa existir nessa região, ele pode “pular”

através dela sob certas condições. Para isolantes, a lacuna pode ser ultrapassada apenas quando as condições de ruptura ocorrem - como por exemplo quando uma voltagem muito alta é aplicada ao material. Sendo assim, para semicondutores o *gap* é menor, permitindo o elétron na banda de valência saltar para a banda de condução, se isso ocorrer é absorvido um fóton, o *gap* é diretamente ligado ao tipo de material semicondutor. Já em condutores, a banda de condução e a banda de valência se sobrepõem, portanto não há folga, conforme mostrado na Figura 4. Isso significa que os elétrons na banda de valência se movem livremente para a banda de condução, então sempre há elétrons disponíveis como elétrons livres. (FLOYD, 2012)

3.4 Células solares de segunda geração

As células de segunda geração são baseadas em filmes finos inorgânicos, que são depositados em um substrato condutor, também são células de junção p-n, como as de primeira geração e apresentam problemas nos valores de eficiências. Essas células necessitam de baixa energia de produção e tem custos menores do que as células de primeira geração. Uma vez que é difícil preparar os filmes sem defeitos, a conversão de energia é menor (VITORETI, et al 2017). Figura 5, painel fotovoltaico de silício amorfo.

Figura 5: Painel de filme fino de silício amorfo



Fonte: MACHADO, 2015.

Geralmente utilizadas para pequenas aplicações, células com este material tem uma baixa eficiência. Sua eficiência diminui em 6 a 12 meses devido a degradação causada pela luz até alcançar um valor estável. A eficiência pode ser aumentada com o empilhamento, uma técnica de colocar várias camadas de células de silício amorfo, porém o custo desta técnica é dispendioso (ELECTRICA LIBRARY, 2017).

3.5 Células de terceira geração

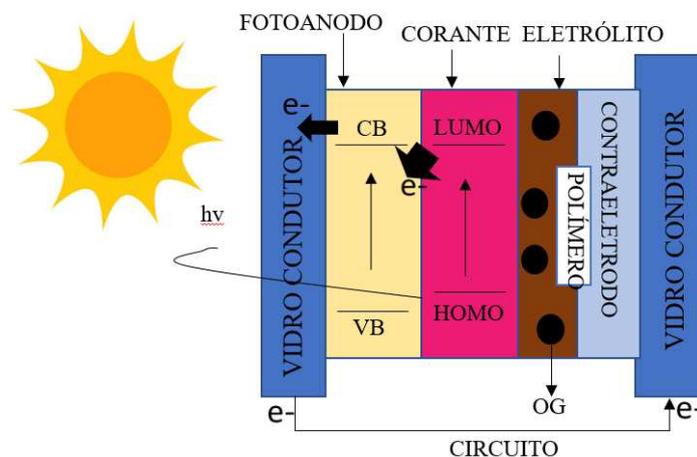
Todos os sistemas fotovoltaicos que podem, potencialmente, gerar eficiências de conversão de energia para além do limite de Shockley e Queisser são denominados como

de terceira geração. Permitem uma utilização mais eficiente da luz solar do que as células baseadas em um único *bandgap*. Dentre elas estão as células orgânicas, de pontos quânticos as células sensibilizadas por corantes, foco deste trabalho. Além destas, as células solares híbridas, poliméricas e, recentemente, as de perovskitas são também referidas como sistemas fotovoltaicos de terceira geração (VITORETI, et al. 2017).

3.6 Células solares de terceira geração: Células solares sensibilizadas por corante (CSSC)

As células solares sensibilizadas por corante, também são chamadas de células de Gratzel. As CSSC' algumas de suas propriedades; são leves e flexíveis, a conversão de energia da célula solar sensibilizada por corante se assemelha com a fotossíntese, utilizada por plantas que envolve a absorção da luz solar por um corante, a clorofila, ou seja, ambos são corantes gerando energia. Figura 6, representa o funcionamento da célula solar sensibilizada por corante utilizada neste trabalho (SONAI, 2015).

Figura 6: Representação de uma célula solar sensibilizada por corante



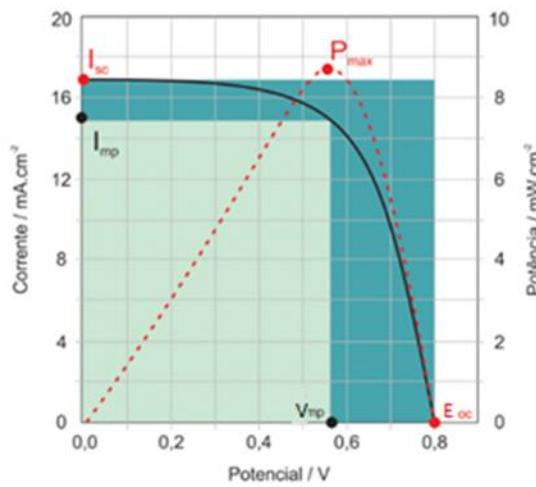
Fonte: adaptado de MUCHUWENI, 2020.

A geração de energia através de uma CSSC é obtida através do efeito fotovoltaico, que se baseia na habilidade de um sensibilizador adsorvido sobre a superfície de um semiconductor, em absorver luz gerando elétrons excitados que são transferidos para o semiconductor. No processo de conversão, a luz incidente é absorvida pelo sensibilizador, promove elétrons do seu orbital ocupado de maior energia (HOMO) para o orbital desocupado de menor energia (LUMO). Estes elétrons são transferidos para a banda de condução do semiconductor e se movem em direção a um eletrodo coletor, onde podem ser utilizados para gerar corrente elétrica. Como o HOMO do sensibilizador é oxidado

pela luz, é necessário um par redox que regenere o sensibilizador doando um elétron. O par redox mais utilizado é o iodeto/triiodeto (I^-/I_3^-) (CHRIST, et al. 2019).

As células solares sensibilizadas por corante são caracterizadas a partir da obtenção de curvas de Corrente vs. Potencial, ou curva I vs. V, sob a aplicação de uma fonte de luz. A Figura 7 apresenta um exemplo genérico da curva I vs. V, de acordo com (SONAI, et al. 2015)

Figura 7: Curva de corrente vs. Potencial vs. Potência de uma célula solar sensibilizada por corante



Fonte: (SONAI, et. Al. 2015)

Curva característica de uma célula solar fotovoltaica, onde estão identificados os parâmetros dos dispositivos que podem ser determinados, como: potencial de circuito aberto - E_{oc} (V): Potencial medido quando a corrente é zero;

- corrente de curto-circuito - I_{sc} (mA): Corrente medida quando o potencial é zero;
- fator de preenchimento (FF, do inglês fill factor): Razão entre a potência máxima ($P_m = E_m \times I_m$) e o produto de E_{oc} e I_{sc} (Equação 1).

$$FF = \frac{I_m \cdot E_m}{I_{sc} \cdot E_{oc}} \quad (1)$$

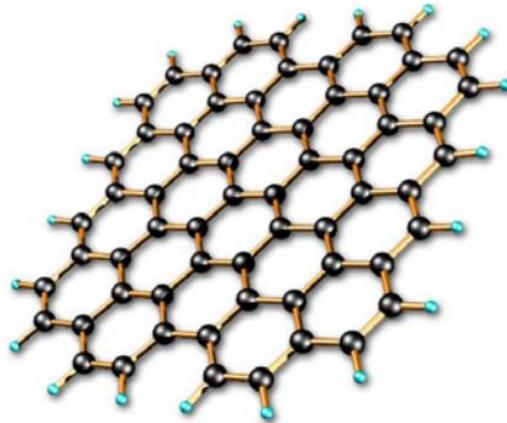
A eficiência de conversão de energia (η): Razão entre a potência máxima (P_m) e a densidade de luz incidente (P_{in}), normalmente padronizada a 1000 W/cm^2 (Equação 2): (SONAI, et. Al. 2015)

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_{sc} E_{oc} FF}{P_{in}} \quad (2)$$

3.7 Grafeno

O grafeno tem como estrutura uma monocamada plana de átomos de carbono dispostos semelhante à uma colmeia de mel, com a espessura de um átomo, organizados em células hexagonais com hibridização sp^2 , resultando em um elétron livre por átomo de carbono no orbital p, isso torna o grafeno um material que pode ser aplicado em diversas áreas (SEGUNDO e VILAR, 2016). Devido sua espessura especial, o grafeno é considerado um material 2D, conforme mostrado na Figura 8, que representa a estrutura do grafeno (MUCHUWENI, 2020). É válido salientar as excelentes propriedades do grafeno por isso é amplamente estudado e utilizado nas células fotovoltaicas de terceira geração, e em uma gama de aplicações industriais. Possui alta área específica, excelente condutividade térmica e alta transparência óptica (97,7%). Além disso, embora o grafeno tenha baixa densidade, é a 50 vezes mais forte que o aço (MAYHEW, 2014). Figura 8, estrutura do grafeno.

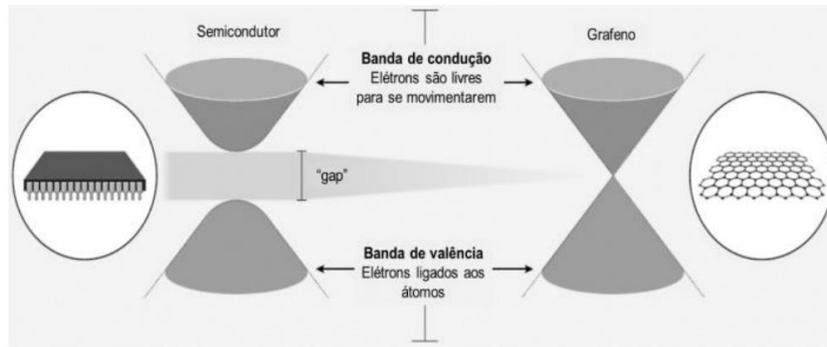
Figura 8: Representação do grafeno



Fonte: ZARBIN, 2013.

O grafeno tem sido extensivamente estudado para aplicações nanotecnológicas, aplicações em transistores de efeito de campo, células solares, células de combustível, supercapacitores, baterias recarregáveis, moduladores ópticos, sensores químicos e aplicações biomédicas (ZHU, 2010). Como este trabalho é sobre célula solar sensibilizada por corante a figura 9, a seguir, representa o gap do grafeno, e o quanto é ínfimo esta é a principal razão pela qual os elétrons do grafeno podem mover-se muito fácil e rapidamente (SEGUNDO; VILAR, 2016).

Figura 9: Representação do gap do Grafeno



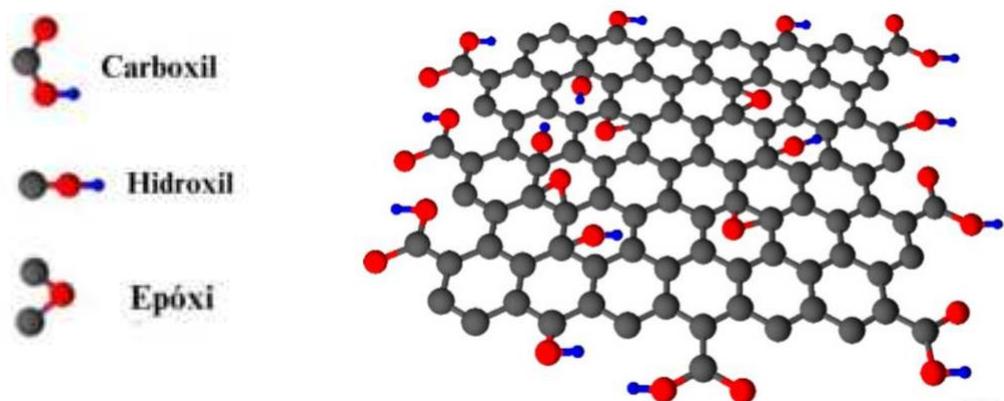
Fonte: SEGUNDO e VILAR, 2016.

Este gap também indica boa condutividade e um promissor contraeletrodo para a célula solar sensibilizada por corante. A condutividade térmica do grafeno em temperatura ambiente pode atingir 5000 W/m.K (para comparação, a do cobre é 400 W/m.K), o que sugere usos potenciais para gerenciamento térmico em uma variedade de aplicações (SEGUNDO e VILAR, 2016).

3.8 Óxido de grafeno

O óxido de grafeno tem uma estrutura semelhante ao grafeno, contendo oxigênio nos grupos funcionais introduzidos na estrutura hexagonal das folhas de grafeno (HIEU, 2021). Além da estrutura semelhante ao grafeno, o óxido de grafeno também apresenta as suas excelentes propriedades. A estrutura do óxido de grafeno é apresentada na Figura 10.

Figura 10: Ilustração do óxido de grafeno os átomos de carbono estão ilustrados de preto e os oxigênios de vermelho



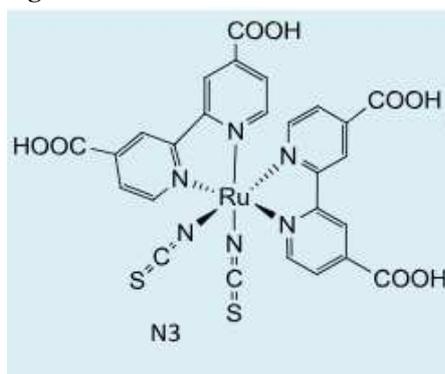
Fonte: Stylianakis et al (2019)

No presente estudo o óxido de grafeno foi sintetizado utilizando o método de Hummers modificado pela metodologia listada em Chen (2013)

3.9 Corante

O primeiro sensibilizador é o comumente utilizado o corante N3, o nome segundo a IUPAC Cis-bis(isotiocianato)bis(2,2'-bipiridil-4,4'-dicarboxilato) rutênio (II), peso molecular: 705,64 g/mol, fórmula molecular: $C_{26}H_{16}N_6O_8RuS_2$. Um dos primeiros corantes complexos de rutênio desenvolvidos para células solares sensibilizadas por corantes de alta eficiência (DSSC). Desde a sua descoberta, tornou-se o paradigma do sensibilizador de transferência de carga heterogênea para células solares mesoporosas. A figura 11, ilustra a estrutura do corante N3.

Figura 11: Estrutura do corante N3

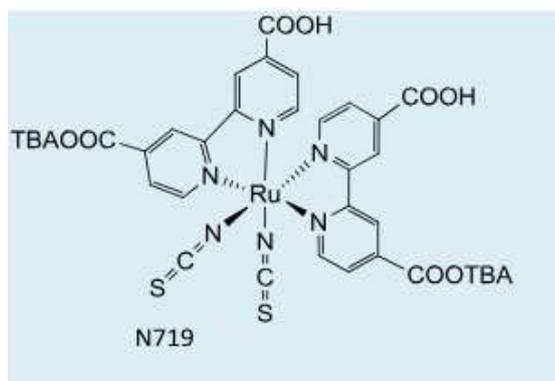


Fonte: MACHADO, 2015.

O corante N3 totalmente protonado tem absorção máxima em 518 nm e 380 nm. Adsorvido no filme nanocristalino de TiO_2 , a eficiência total de conversão de energia de luz em eletricidade η da célula foi de 10% sob irradiação AM 1,5 (NAZEERUDDIN, et al. 1993)

O segundo corante utilizado com propriedades sensibilizantes é intitulado N-719, esse sensibilizante apresenta maior sensibilidade a luz se comparado ao N3. Características básicas, peso molecular: 1.188,55 g/mol, fórmula molecular: $C_{58}H_{86}N_8O_8RuS_2$. Nome, de acordo com a IUPAC: di-tetrabutilamônio cis-bis(isotiocianato)bis(2,2bipiridil-4,4-dicarboxilato) rutênio (III)-95%). Figura 12, a estrutura do corante N-719.

Figura 12: Estrutura do corante N-719



Fonte: MACHADO, 2015.

O corante N-719 se destaca por apresentar uma ampla faixa de absorção de energia, além de ser estável e possuir grupos adsorventes que se ligam fortemente ao óxido. Entretanto, o valor médio do grama deste tipo de corante, tem um valor extremamente alto (MACIEL, et al. 2020).

4 METODOLOGIA

4.1 Síntese óxido de grafeno

Para preparação do GO (óxido de grafeno) foi realizada a oxidação do pó de grafite natural de acordo com o método Hummers. Inicialmente, o pó de grafite disponibilizado pela Nacional de Grafite de Minas Gerais (3,0 g) foi adicionado ao H₂SO₄ (ácido sulfúrico) concentrado, P.A da marca Isofar (70 mL) sob agitação em um banho de gelo. Em seguida agitação vigorosa na mesa agitadora gehaka AO-370, o KMnO₄ (pergamanato de potássio) da marca Proquímico (9,0 g) foi adicionado lentamente para manter a temperatura da suspensão abaixo de 20 °C. Posteriormente, o sistema de reação foi transferido para uma manta de aquecimento e agitação (Fisaton) 752A, a 40 °C e vigorosamente agitado por cerca de 30 minutos. Em seguida, 150 mL de água destilada foram adicionados e a solução foi agitada por 15 minutos a 95 °C. Após este tempo mais 500 mL de água destilada foram adicionados e seguidos por uma adição lenta de 15 mL de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) (30%), da marca Neon, P.A transformando a cor da solução de marrom escuro para amarelo. A mistura foi centrifugada a 5500 rpm na centrífuga de bancada SL-700 por 10 min e após este tempo filtrada e lavada com solução aquosa de 1:10 HCl P.A da marca Cinética (250 mL) para remover íons metálicos. Figura 13, sólido resultante após a filtração.

Figura 13: Sólido resultante após filtração



Fonte: autor, 2023.

O sólido resultante foi seco na estufa da marca Solab com renovação e circulação de ar depois de seco diluído para 600 mL, em seguida 20 minutos no ultrassom da marca UltraSonic Cleaner USC-1450A, resultando em uma dispersão aquosa de óxido de grafeno. A dispersão aquosa resultante é ilustrada na figura 14 (CHEN, 2013).

Figura 14: Dispersão do óxido de grafeno

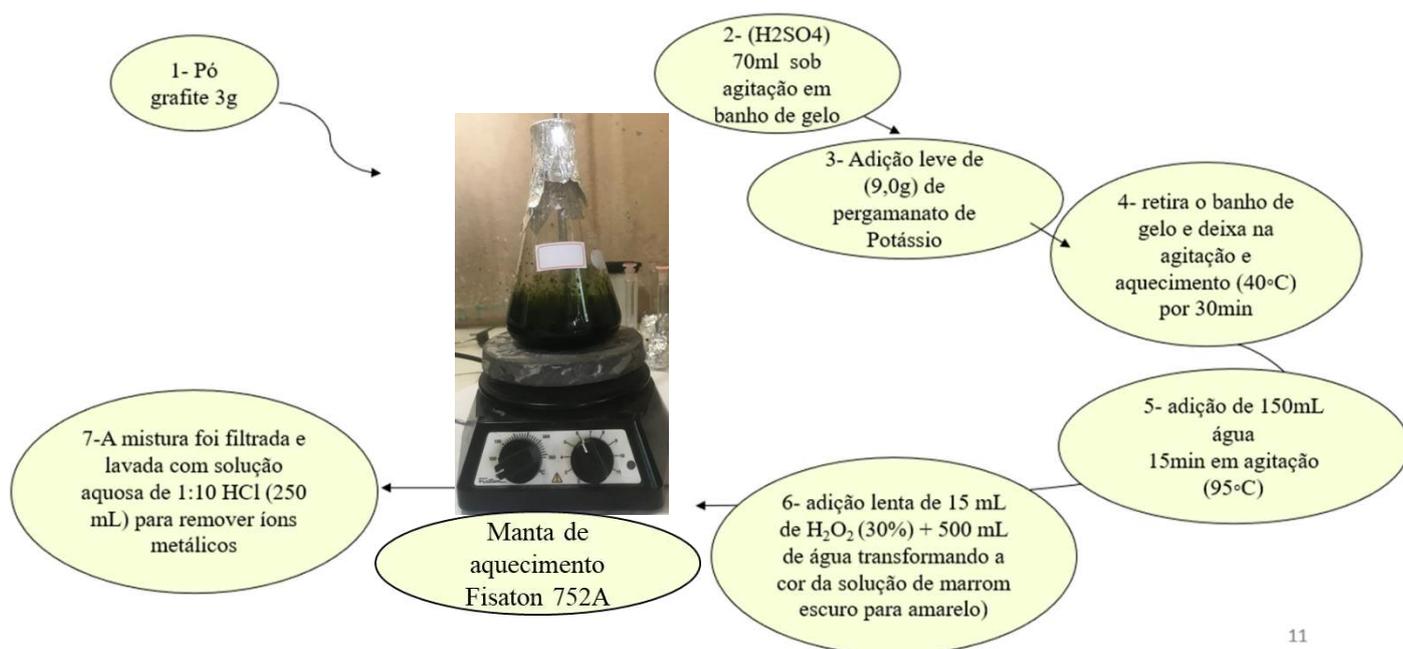


Fonte: autor, 2023.

4.2 Fluxograma da síntese do óxido de grafeno

O fluxograma que resume a síntese do óxido de grafeno representado na figura 15, a seguir.

Figura 15: Fluxograma da síntese do óxido de grafeno



11

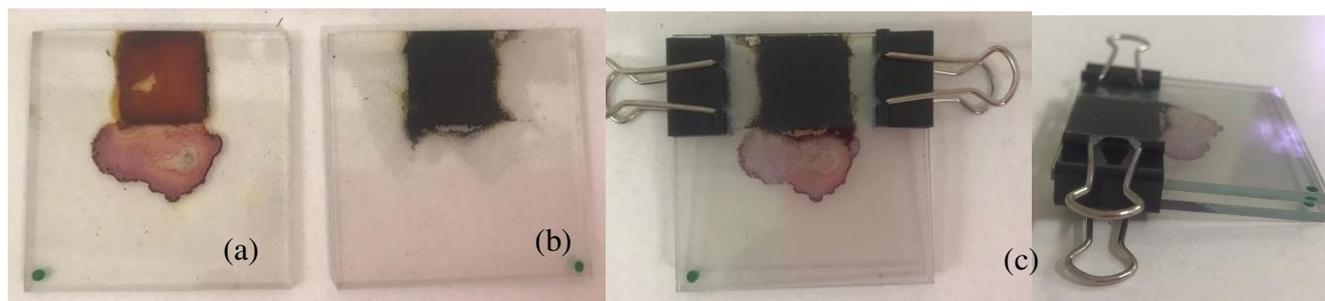
Fonte: autor, 2023.

4.3 Preparação do eletrodo

O eletrodo constituído de uma lâmina de vidro revestida com óxido de estanho dopado com flúor 1 cm² fornecido por sigma aldrich, a suspensão de grafeno é gotejada sobre a superfície até uma completa cobertura da área, onde temos o contra-eletrodo. Após a deposição, o eletrodo é submetido a secagem em estufa. O preparo do foto-eletrodo ocorre em duas etapas.

Na primeira, uma camada de dióxido de titânio é espalhada na superfície condutora da lâmina de vidro através da técnica de espalhamento com bastão de vidro (doctor balding). Submete-se a lâmina à aquecimento (100 °C). A segunda etapa consiste na adsorção das moléculas do corante (N3 e N-719) ambos com concentração de 1mmol pela camada de dióxido de titânio. A adsorção é realizada através da imersão da lâmina de vidro numa solução de corante. Figura 16, mostra a preparação da célula.

Figura 16: Preparação da célula CSSC



Fonte: autor, 2023.

Figura (a) fotoeletrodo que é composto pelo corante e a pasta de dióxido de titânio (b) o contraeletrodo constituído por óxido de grafeno e (c) o sanduíche para verificar o funcionamento da célula.

4.3 Caracterizações do eletrodo

A célula preparada submetida a três tempos de exposições: sem exposição, uma hora e duas horas de exposição. A célula é exposta a luz solar natural. As curvas I-V fornecidas pelo potenciostato SP-150 BioLogic, conectada em uma configuração de dois eletrodos: o fotoeletrodo (ânodo) como o eletrodo de pseudo-referência e o contraeletrodo (cátodo) conectado como eletrodo de trabalho. Na faixa de potencial entre: $E_i = 0 \text{ V}$ $E_f = 0,1 \text{ V}$, o software EC-Lab[®] que acompanha o potenciostato, disponibiliza os parâmetros fotoeletroquímicos: Potência máxima, potência total, eficiência, corrente de curto-circuito, potencial de circuito aberto, fator de preenchimento, potência incidente, padronizada em $1000,0 \text{ W/m}^2$.

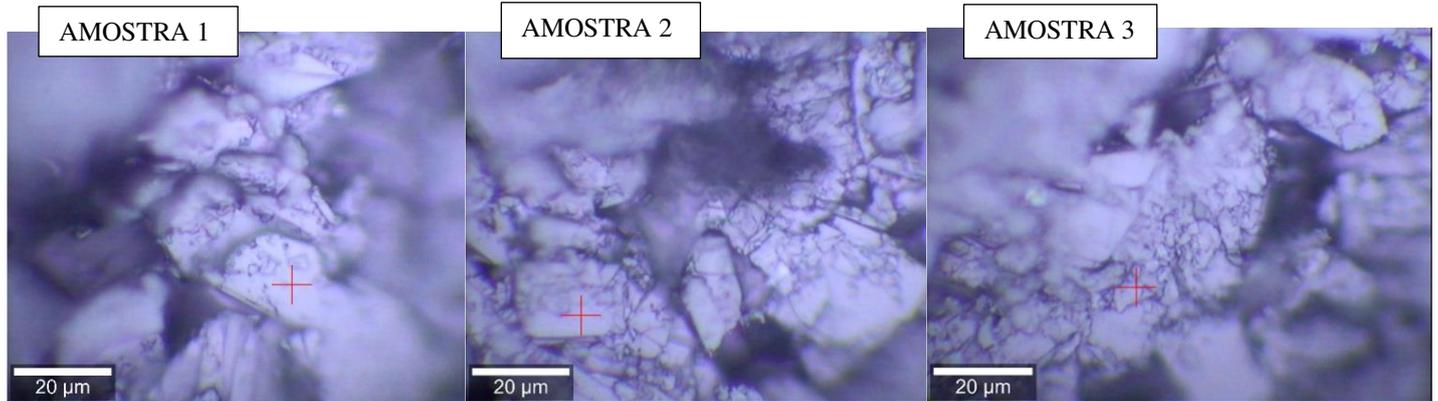
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do material grafite espectroscopia Raman

As análises de microscopia Raman foram realizadas no Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), localizado em Recife-PE. O material em pó foi depositado em lâmina de microscopia limpa, para permitir boa distribuição do material, espectros em alguns pontos da amostra, a $21 \text{ }^\circ\text{C}$, o Microscópio Raman utilizado: Confocal Alpha 300 S (Witec), objetiva em 100x e laser em 532 nm.

Esta análise vem sendo bastante utilizada para caracterização de materiais carbonosos. A partir dos espectros Raman é possível identificar os tipos de ligações e informações sobre o grau de desordem da rede cristalina (LOBO, et al. 2005). A figura 17, mostra as imagens fotópticas do material que foi submetido ao espectro Raman.

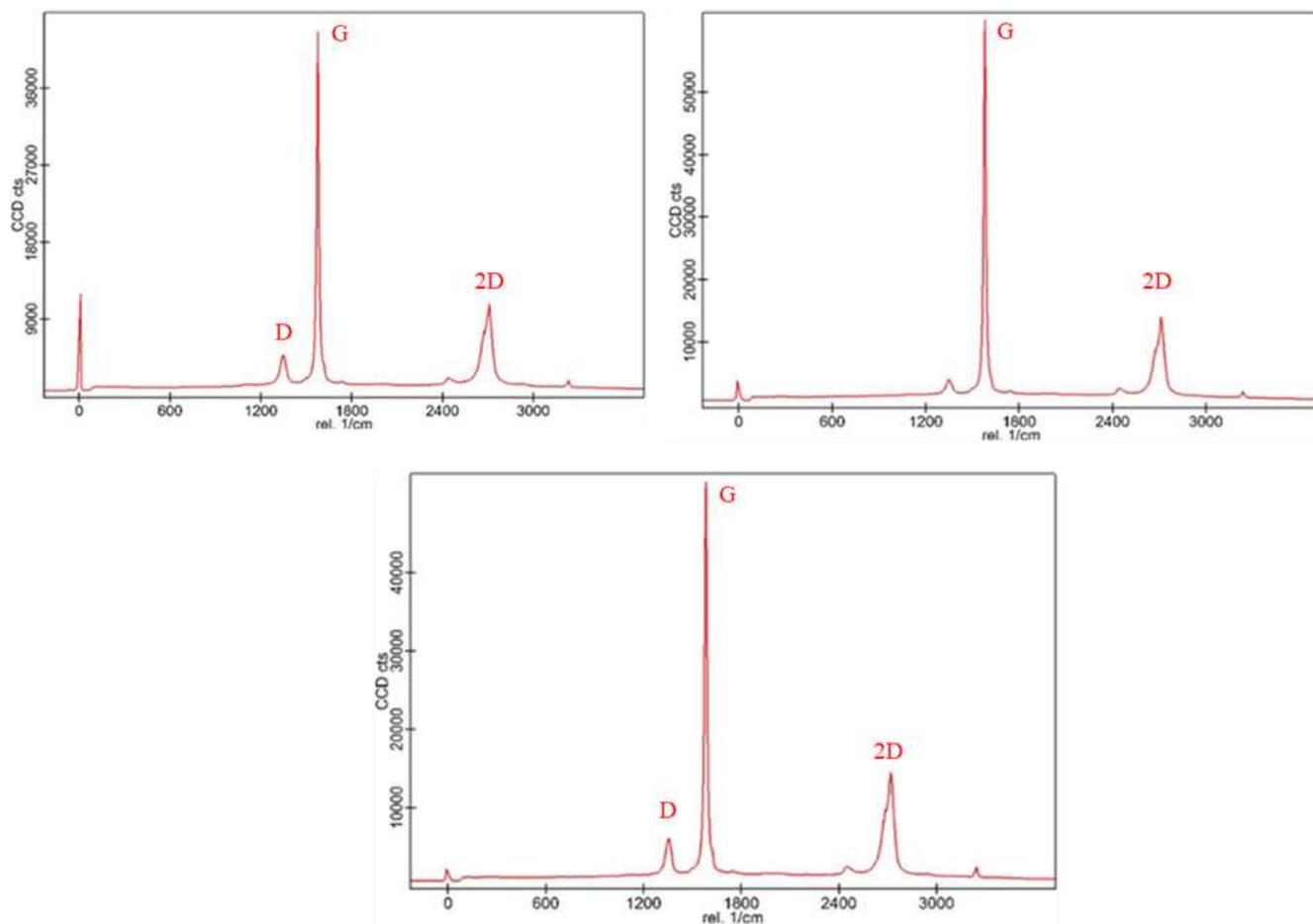
Figura 17: Imagens fotópticas indicando os diferentes locais que o material grafite foi analisado no espectro Raman



Fonte: autor, 2023.

Como pode ser observado a partir das imagens fotópticas, o símbolo vermelho indica os diferentes locais que cada amostra foi submetida a análise da espectroscopia Raman. Portanto, gerou os espectros que serão discutidos logo abaixo nas figuras 18, onde representam os espectros Raman do grafite.

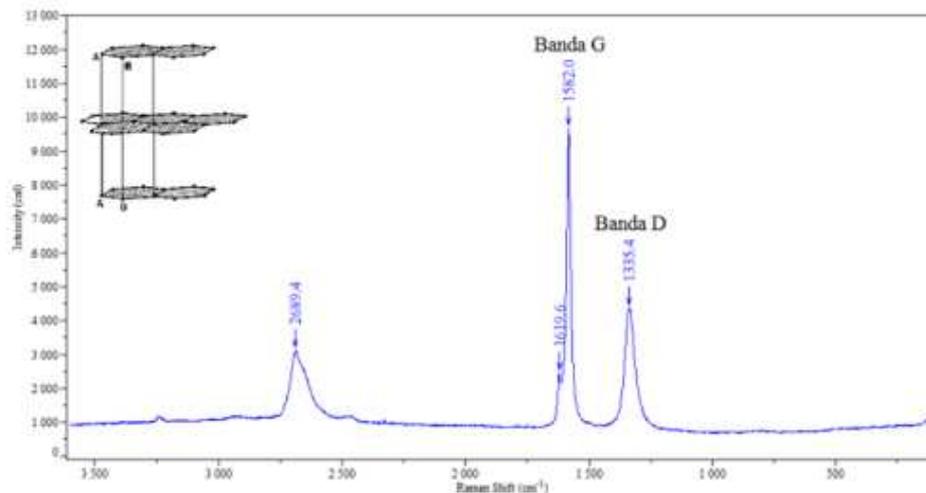
Figura 18: Espectro Raman do grafite das respectivas amostras ópticas



Fonte: autor, 2023.

De acordo com Haack (2015) a banda entre 1580cm^{-1} são características das bandas conhecidas como banda do grafite ou banda tangencial que se referem as ligações de sp^2 entre carbonos na configuração planar. A banda D em torno de 1330 cm^{-1} , indica os carbonos hibridizados sp^2 , banda em torno de 1580 cm^{-1} é atribuída à banda G, é característica do grafite que se origina do alongamento dos carbonos hibridizados sp^2 , e a banda 2D em torno de 2700 cm^{-1} (LI, et al. 2021). A figura 19, mostra o espectro Raman retirado da literatura, que também confirma o que foi discutido acima.

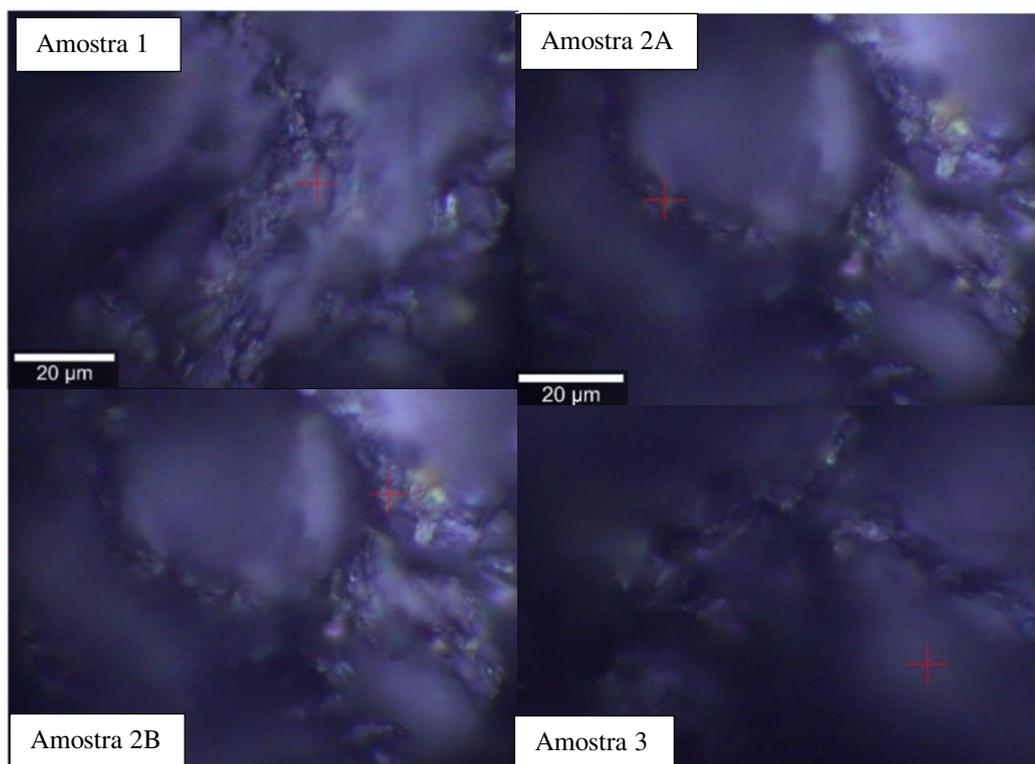
Figura 19: Espectro Raman



Fonte: (HAACK, 2015)

A figura 19, mostra que o grafite nas amostras analisadas foi obtido pois os picos estão semelhantes, assim como as intensidades. Figura 20 indica as amostras ópticas do óxido de grafeno que foi analisado no espectro Raman.

Figura 20: Amostras ópticas indicando onde o óxido de grafeno foi analisado no espectro

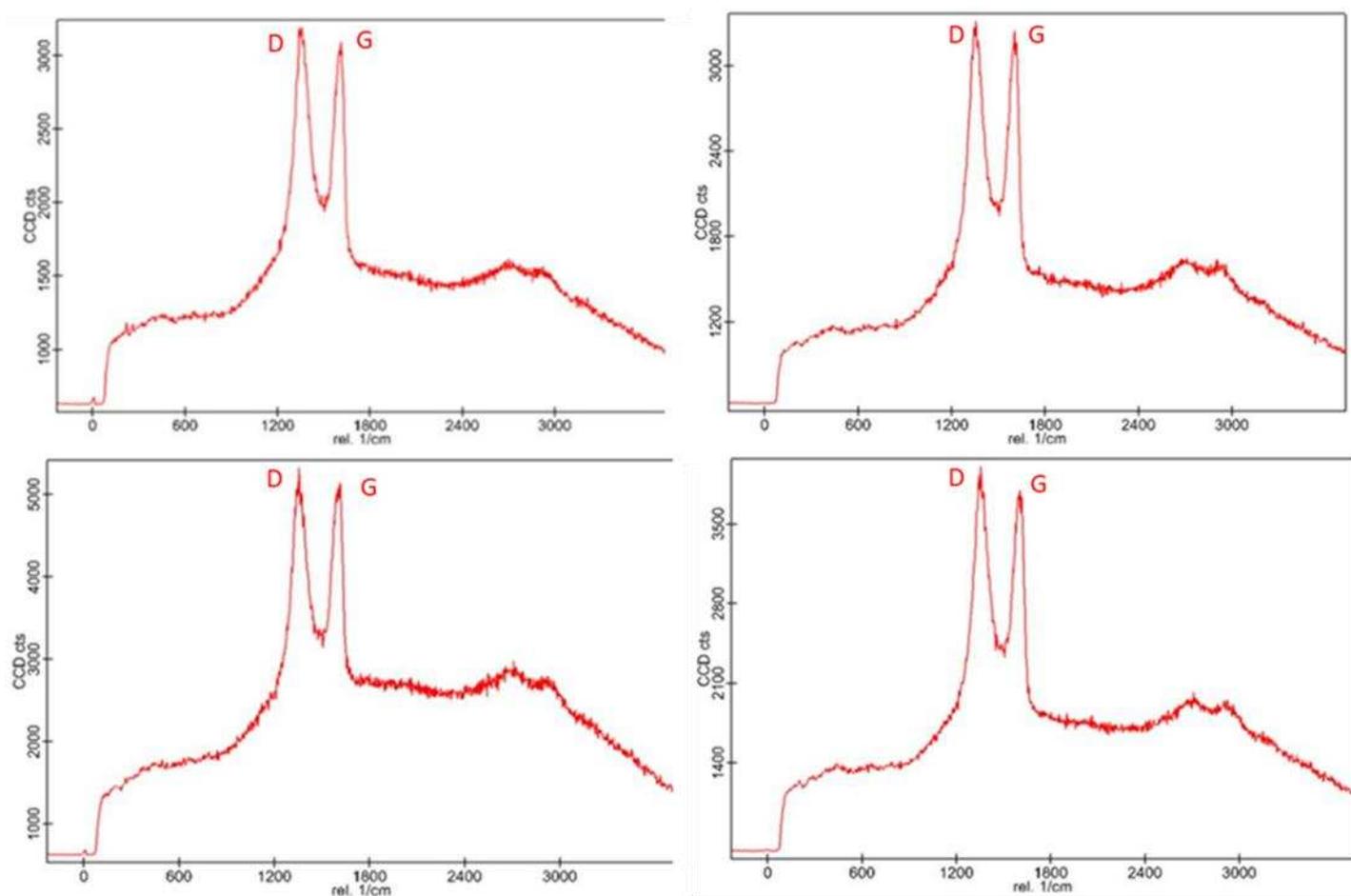


Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

5.2 Espectroscopia Raman óxido de grafeno

A figura 21 representa os espectros Raman do óxido de grafeno que foi obtido a partir das análises.

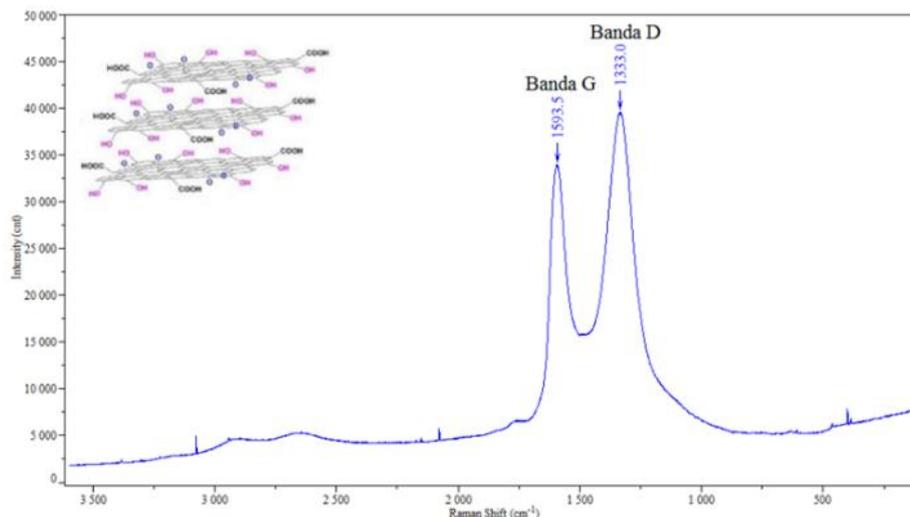
Figura 21: Espectro Raman do óxido de grafeno



Fonte: Dados da pesquisa, 2023.

Portanto, há a confirmação que o material é o óxido de grafeno e que a síntese pelo método modificado de Hummers, foi efetivo. Como indica o espectro, a Banda G que fica entre 1590cm^{-1} e a D próxima a 1330 cm^{-1} conhecidas como banda de desordem, ou banda de diamante podem representar ligações sp^3 ou desordens nas ligações de hibridização sp^2 ligações da borda de grafeno este espectro de referência demonstrou que se obteve o óxido de grafeno. E a mudança das bandas deve a presença dos oxigênios (HAACK, 2015). Figura 22 espectros Raman retirado da literatura do óxido de grafeno.

Figura 22: Espectro Raman do óxido de grafeno

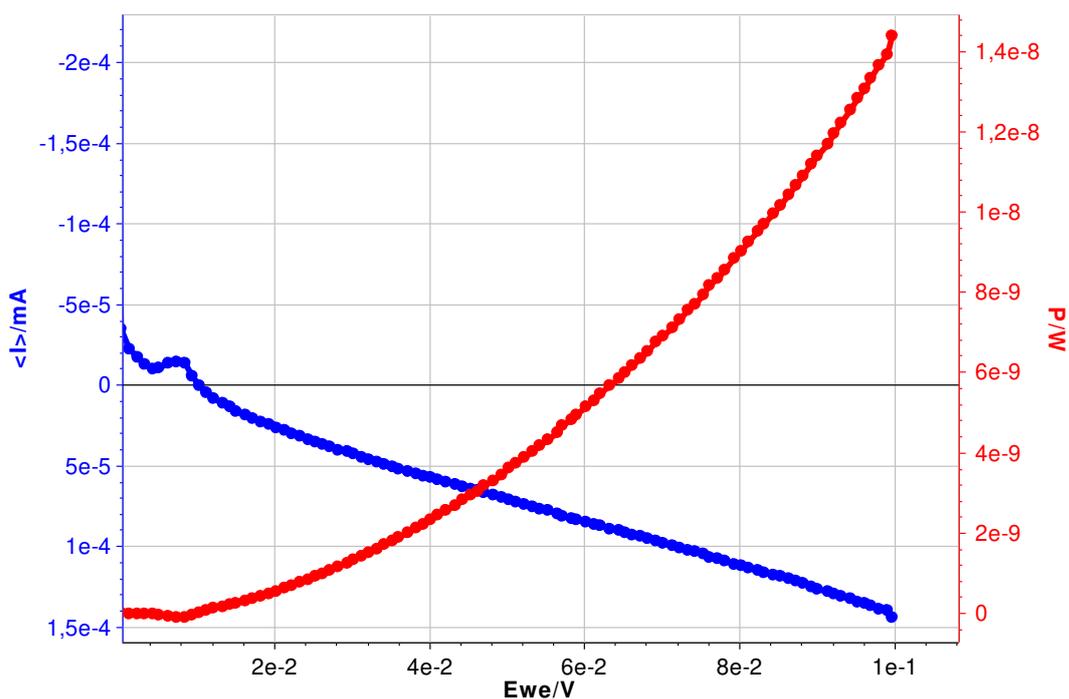


Fonte: HAACK, 2015.

5.3 Eficiências energéticas pasta de dióxido de titânio opaca corante N-3

Os gráficos e os parâmetros da célula foram obtidos a partir de um potenciostato SP-150 BioLogic com auxílio do software EC-lab[®], que gerou as curvas corrente potencial como pode ser observado nas figuras a seguir, as células submetidas a exposição a luz solar natural: sem exposição, uma hora de exposição e duas horas de exposição. Utilizando como fotoeletrodo: o corante N3 com a pasta de dióxido de titânio opaca, e o contraeletrodo é composto pelo óxido de grafeno (1ml), a área da célula é de 1cm². Figura 23 curva I vs E vs P sem exposição para o corante N-3 utilizando a pasta de dióxido de titânio opaca.

Figura 23: Teste sem exposição I vs. E vs. P corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca



Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

O gráfico da figura 22 é a curva da célula sem exposição solar a curva azul representa a corrente e a vermelha potência e como pode ser observado na tabela 1, logo abaixo, os parâmetros obtidos experimentalmente através do software EC-lab. As análises todas feitas em triplicata e a tabela a seguir representa a média.

Tabela 1: Parâmetros do corante N3 e a pasta opaca comparação sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição

| Parâmetros | Sem exposição | 1 hora de exposição | 2 horas de exposição |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Isc | 0,035 μ A | 0,141 μ A | 0,159 μ A |
| Eoc | 4,480 mV | 1,256 mV | 2,333 mV |
| PT | 0,156 nW | 0,176 nW | 0,370 nW |
| Pmax | 14,374 nW | 0,062 μ W | 0,063 μ W |
| FF | 9 236 % | 35 212 % | 17e ³ % |
| Pin | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² |
| S | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² |
| Eficiência | 14,4 10 ⁻⁶ % | 62,1 10 ⁻⁶ % | 62,8 10 ⁻⁶ % |

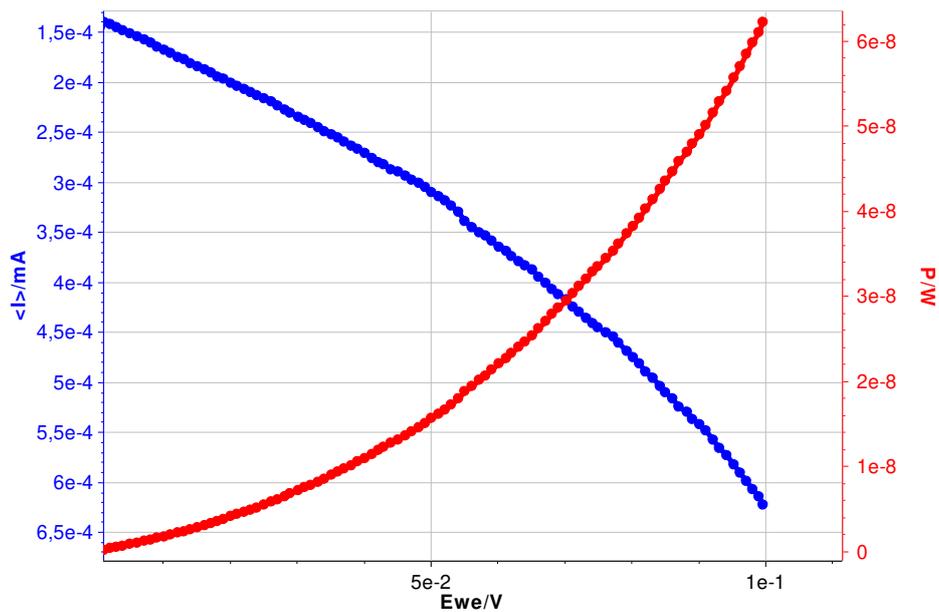
Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

Lembrando que os parâmetros I_{sc} representa a corrente de curto-circuito, E_{oc} potencial de circuito aberto, P_T a potência teórica, P_{max} potência máxima, FF o fator de preenchimento, P_{in} a potência incidente que geralmente padronizada ($1000,0 \text{ W/m}^2$, S área de superfície e E_f a eficiência da célula.

Corrente de curto-circuito (I_{sc}), é a máxima corrente produzida por uma CSSC e é medida quando a voltagem aplicada na célula é zero. É influenciada por fatores como o número de fótons incidindo no sistema, propriedades ópticas e área da célula; potencial de circuito-aberto (E_{oc}), é o máximo de potencial produzido pela célula e é medido quando não há corrente aplicada no sistema, dado pela diferença de potencial entre a banda de condução do óxido e o potencial redox do eletrólito. Fator de forma ou de preenchimento (FF) razão entre a potência máxima e a potência total, eficiência de conversão, a aproximação da célula em uma condição ideal dado pela razão entre a potência máxima e a potência de radiação incidente. Os resultados dos parâmetros como era esperado foram baixos, com eficiência de $14,4e^{-6} \%$, porém apresentou excitação do corante mesmo sem exposição a luz solar.

O gráfico da figura 24, é a curva para célula com 1 hora de exposição solar como é possível observar, apresentou resultados melhores do que comparado a de sem exposição os parâmetros da tabela 2, confirma essa afirmação. Figura 24, curva I vs E vs P 1 hora de exposição solar corante N3.

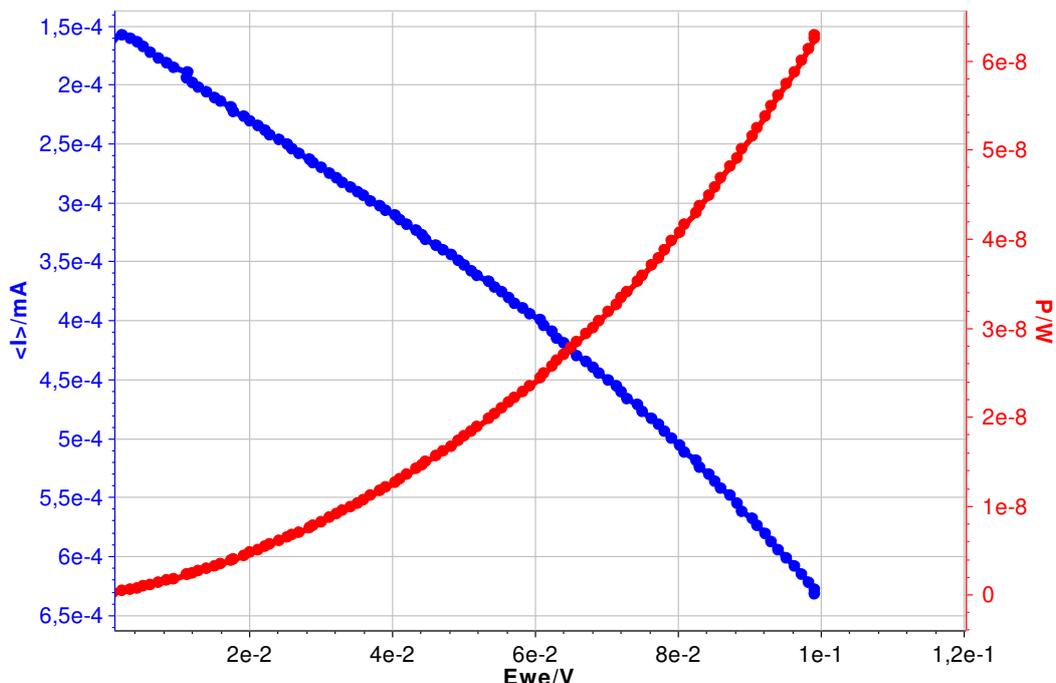
Figura 24: Curva I vs. E vs. P 1 hora de exposição corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca



Fonte: autor com auxílio do software EC-lab, 2023.

A curva com uma hora de exposição solar apresentou a potência de $6e^{-8}W$ e a corrente máxima de $1,5 e^{-4}$ mA a tabela 2, mostra o quanto os parâmetros subiram com 1 hora de exposição comparando com a de sem exposição. Figura 25, curva I vs E vs P, 2 horas de exposição corante N3.

Figura 25: Curva I vs. E vs. P 2 horas de exposição corante N-3 pasta de dióxido de titânio opaca

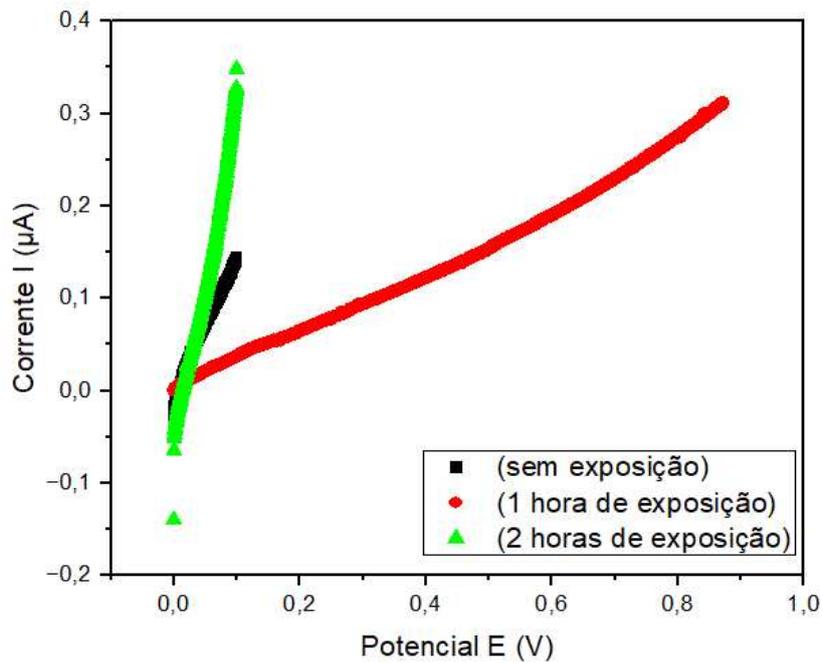


Fonte: autor com auxílio do software EC-lab, 2023.

A figura 25, representa a curva gerada para a célula com 2 horas de exposição, assim como, a tabela 3. Entretanto, para o corante N3 a célula com a exposição de maior duração se comportou quase semelhante à de 1 hora, houve apenas um pequeno aumento dos parâmetros.

A figura 26, é a plotagem da curva I vs. E e a figura 27, curva I vs. P, com todos os ensaios que as células foram submetidas, para melhor visualização e discussão dos dados, onde a linha preta é representada para sem exposição, a vermelha 1 hora de exposição e a azul 2 horas de exposição.

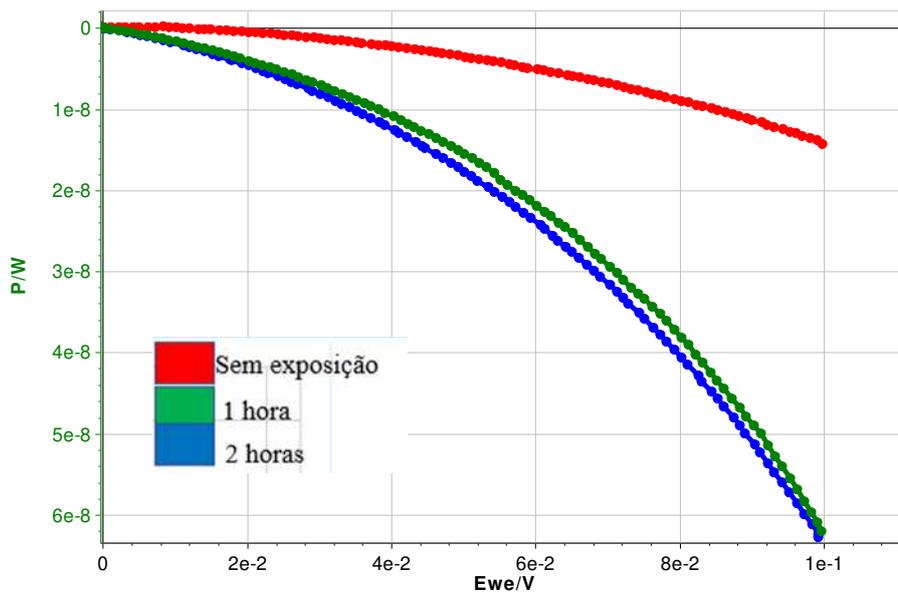
Figura 26: Resultados da curva I vs. E do corante N3 pasta opaca comparação das três exposições



Fonte: autoria própria com auxílio do software Origin, 2023.

A partir do gráfico é possível verificar a semelhança entre a curva de uma hora de exposição e duas horas de exposição, porém a de duas horas ainda apresentou um aumento de corrente e potência. Figura 27, comparação dos resultados de potência para sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição curva P vs E, corante N3.

Figura 27: comparação dos resultados das três exposições I vs. P corante N3 e pasta opaca



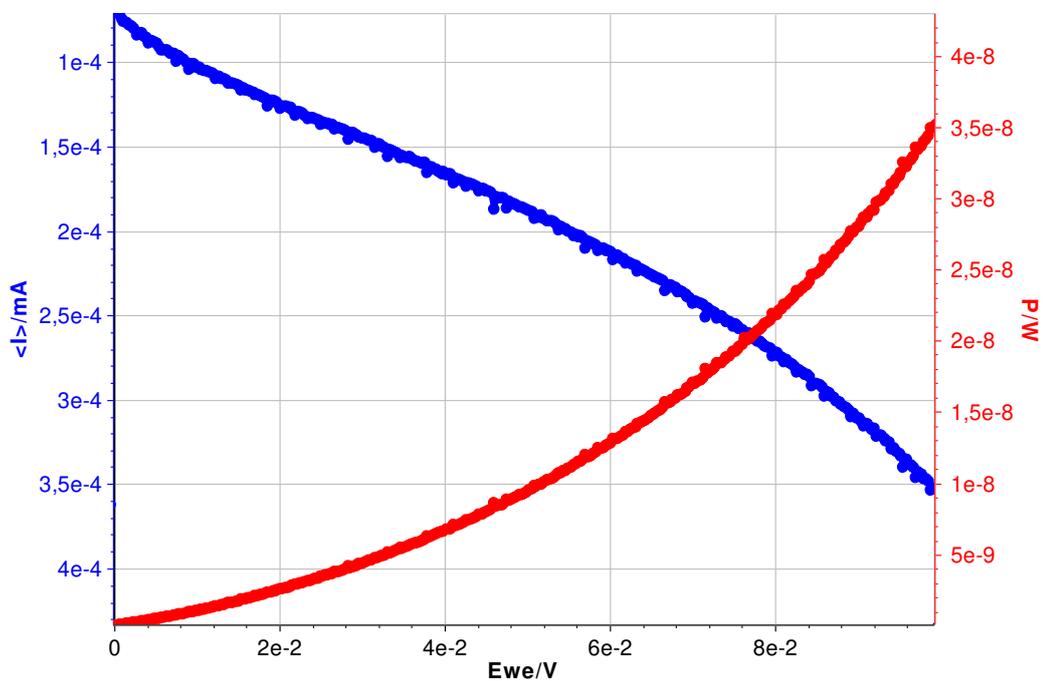
Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

Nota-se que o melhor resultado apresentado para o corante N3, é a célula com duas horas de exposição pois obteve a maior potência máxima e apesar de não ter a melhor eficiência pode ser devido a um aumento da resistência na interface fotoeletrodo/eletrólito. (SONAI, et. al. 2015)

5.4 Eficiências energética pasta de dióxido de titânio opaca corante N-719

Na figura 28, temos a curva para célula sem exposição solar com o corante N-719 e a pasta de dióxido de titânio opaca.

Figura 28: Curva I vs. E vs. P sem exposição corante N-719 e a pasta opaca



Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

Como é possível observar na figura 28, a célula sem exposição apresentou baixos valores de corrente, potencial e potência, a curva azul representa a corrente e a vermelha a potência.

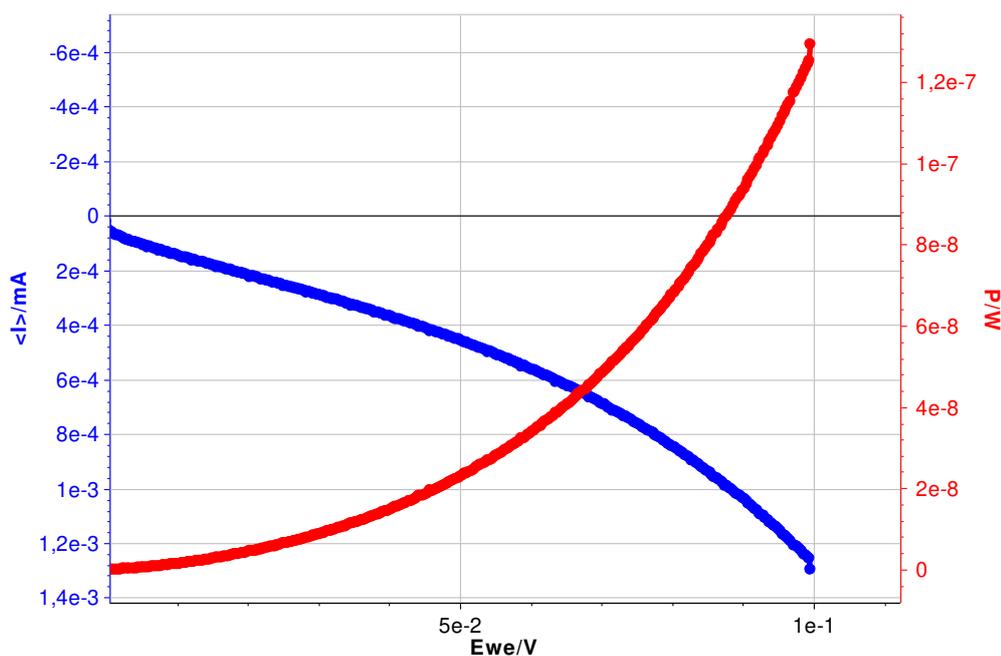
Tabela 2: Parâmetros obtidos da célula sem exposição solar corante N-719 e pasta opaca

| Parâmetros pasta de titânio opaca corante N-719 | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Parâmetros | Sem exposição | 1 hora de exposição | 2 horas de exposição |
| Isc | 0,072 μ A | 0,055 μ A | 24,446 nA |
| Eoc | 0,671 mV | 0,428 mV | 1,407 mV |
| PT | 0,048 nW | 23,353 nW | 34,395 nW |
| Pmax | 0,043 μ W | 0,129 μ W | 0,174 μ W |
| FF | 89 517% | 553 338 % | 505 973 % |
| Pin | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² |
| S | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² |
| Eficiência | 43,4e ⁻⁶ % | 0,129e ⁻³ % | 0,174e ⁻³ % |

Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

A célula sem exposição solar apresentou uma eficiência baixa 43,4e⁻⁶ %, porém o corante N-719 apresentou sinais de excitação mesmo sem exposição solar ainda maiores do que o corante N-3, indicando uma boa eficiência como sensibilizador, apresentou a potência máxima 0,043 μ W e o N-3 sem exposição apresentou 14,374 μ W. Figura 29, curva I vs E vs P corante N-719 1 hora de exposição solar.

Figura 29: Curva I vs. E vs. P corante N-719 1 hora de exposição pasta opaca

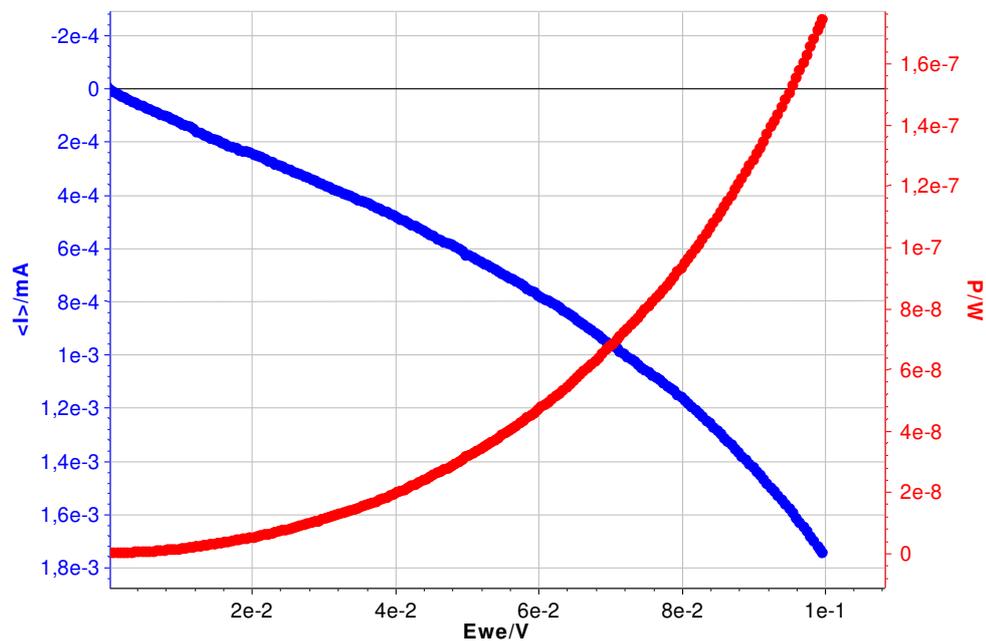


Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

A célula submetida a exposição de 1 hora solar apresentou excelentes resultados, ou seja, o corante N-719 se mostra mais eficiente e com propriedades sensibilizadoras mais efetivas se comparado com o corante N3. A célula sem exposição corante N-719 teve uma potência de $3,5e^{-8}$ W o de 1 hora de exposição subiu para $1,2 e^{-7}$ W, como é possível observar na figura 29.

Figura 30, curva I vs. E vs. P para 2 horas de exposição corante N-719 e a pasta de dióxido de titânio opaca.

Figura 30: Curva I vs. E vs. P corante N-719 pasta opaca 2 horas de exposição

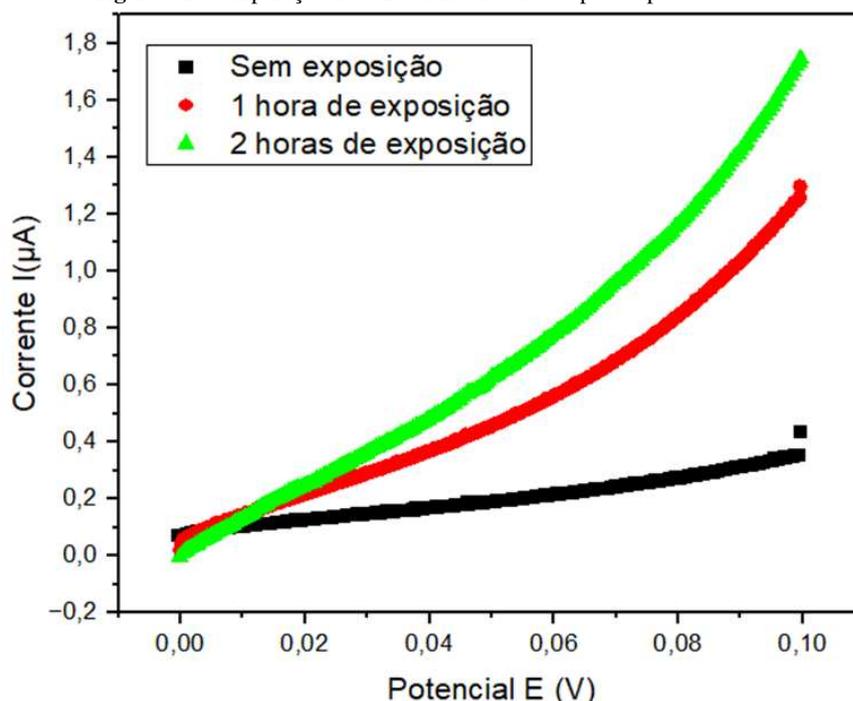


Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

A figura 30 ilustra a curva com 2 horas de exposição que indica os melhores resultados a potência subiu, assim como, a corrente com a potência superior a $1,6e^{-7}$. A tabela 7, indica os parâmetros fotovoltaicos encontrados para a célula com duas horas de exposição.

Figura 31, curva I vs. E comparação com 2 horas de exposição 1 hora e sem exposição

Figura 31: Comparação I vs. E corante N-719 e a pasta opaca

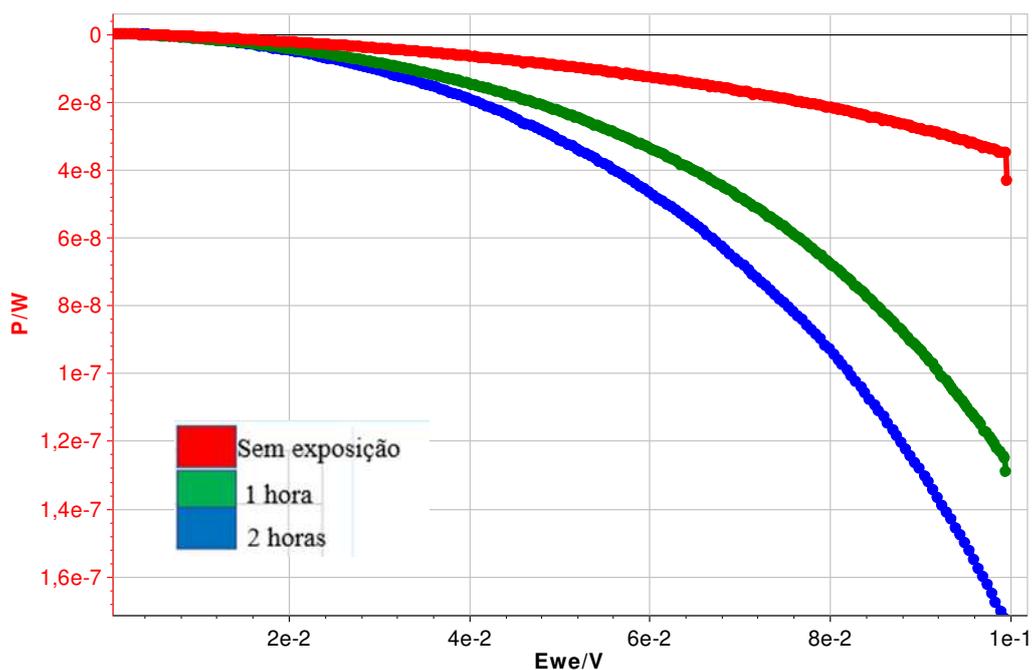


Fonte: autoria própria com auxílio do software Origin, 2023.

Como é possível observar no gráfico de corrente versus potencial a célula com exposição solar de 2 horas (curva verde) apresentou os melhores resultados, como era de se esperar. Lembrando que a célula exposta 1 hora (curva vermelha) mediano e a sem exposição (curva preta) resultados inferiores comparado com todas as exposições.

A partir destes parâmetros é possível definir qual célula obteve os melhores resultados e como é possível observar na tabela 8, a célula exposta 2 horas ao sol teve melhor eficiência, assim como, apresentou uma potência máxima maior comparando com a sem exposição e com 1 hora. Figura 32, curva P vs E, comparação dos resultados sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição, indicando a maior potência para exposição de 2 horas com $1,6 \text{ e}^{-7} \text{ W}$.

Figura 32: comparação do corante N-719 com a pasta opaca três exposições

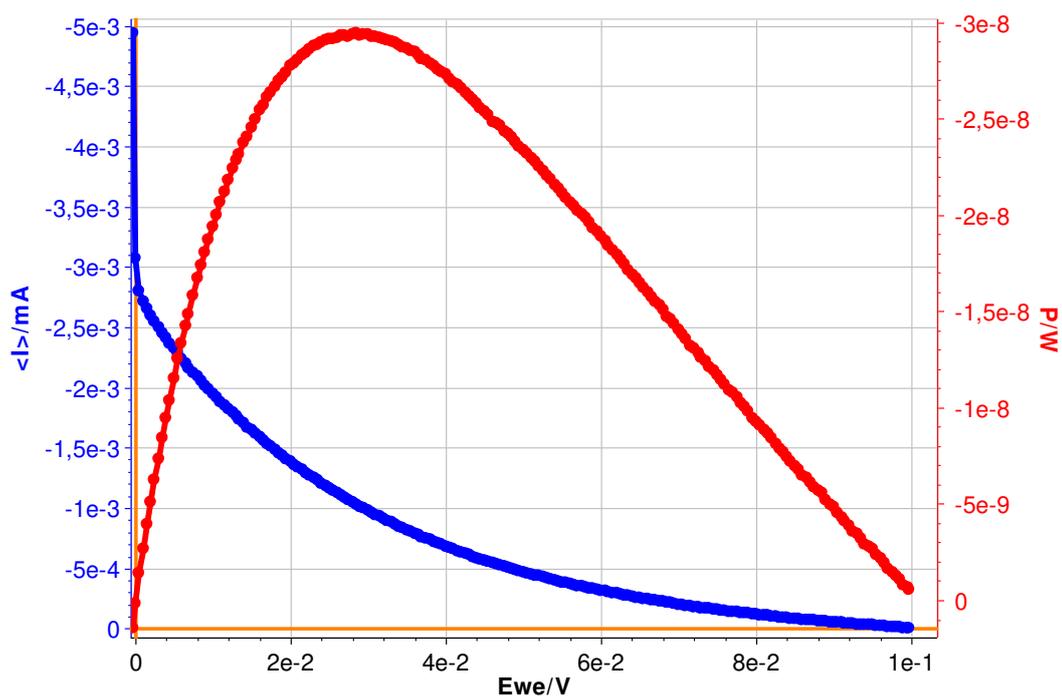


Fonte: autoria própria com auxílio do software EC-lab, 2023.

5.5 Eficiência pasta de dióxido de titânio transparente com o corante N-719

As curvas de corrente vs potencial acerca da pasta de titânio transparente com o corante N-719, a figura 33, a seguir, representa o corante N-719 com a pasta transparente sem exposição solar.

Figura 33: Curva I vs E sem exposição pasta de TiO² transparente



Fonte: Autor, 2023.

Como é possível observar o gráfico apresenta corrente mesmo sem exposição se comparado com o corante N3 com a pasta transparente, o corante N-719 se mostrou com propriedades sensibilizantes maiores. Porém, o corante N-719 apresentou uma afinidade optoeletrônica mais elevada com a pasta de titânio opaca onde mesmo sem exposição apresentou uma potência de $3,5e^{-8}W$ e a corrente também foi superior para a pasta opaca. Tabela 3, parâmetros fotovoltaicos pasta transparente com o corante N-719, sem exposição solar.

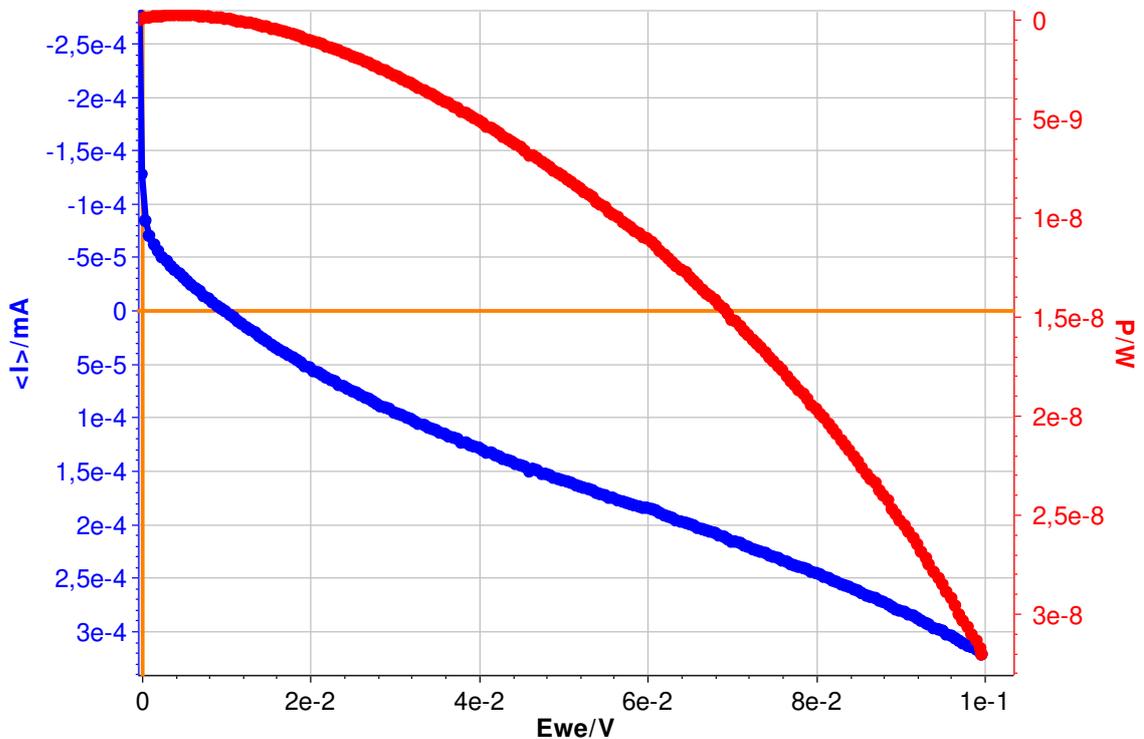
Tabela 3: Parâmetros pasta transparente com o corante N-719 e a pasta transparente sem exposição, 1 hora e 2 horas de exposição

| Parâmetros pasta transparente N-719 | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Parâmetros | Sem exposição | 1 hora de exposição | 2 horas de exposição |
| Isc | -0,574 μ A | -12 nA | -0,395 μ A |
| Eoc | 0,027 mV | -0,179 mV | 0,104 mV |
| PT | 0,1765 μ mW | 11,05 nW | 4,71 nW |
| Pmax | 21,47 μ mW | 0,053 μ W | 0,111 μ W |
| FF | 26,33 % | 433 % | 2,61e ⁶ % |
| Pin | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² |
| S | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² |
| Eficiência | 2,146 e ⁻⁵ % | 4,50 e ⁻⁵ % | 1,11e ⁻⁴ % |

Fonte: Autor, 2023.

A figura 34, curva I vs. E vs. P 1 hora de exposição com o corante N-719 com a pasta transparente.

Figura 34: Curva I vs E 1 hora de exposição pasta TiO₂ transparente com o corante N-719

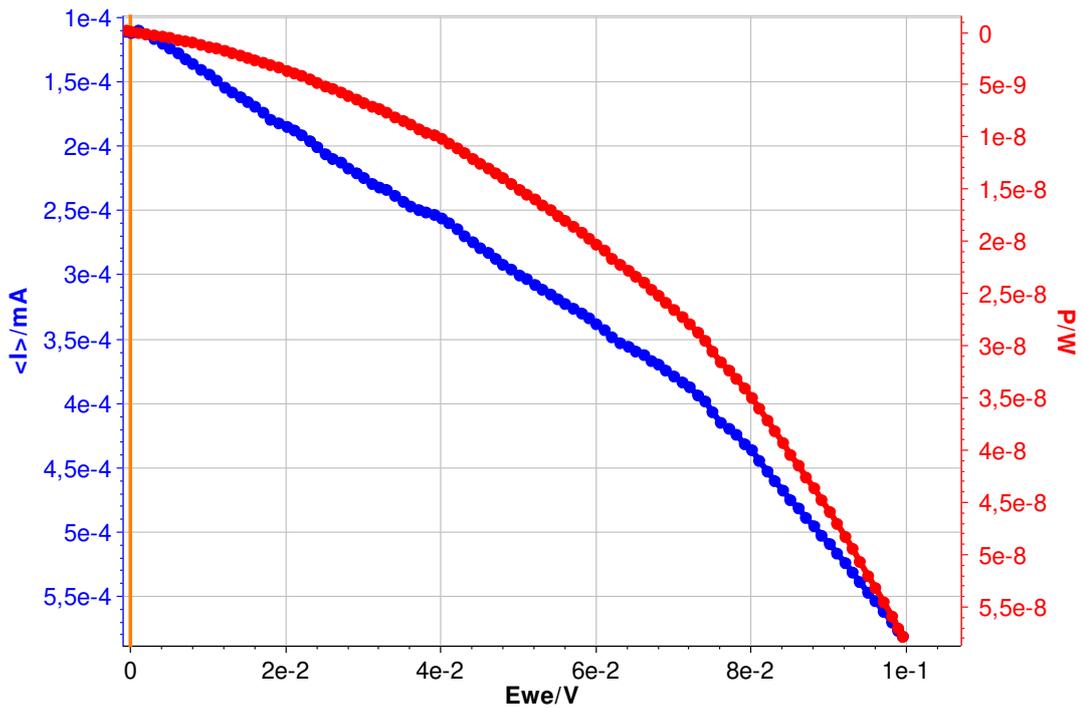


Fonte: Autor, 2023.

A curva que representa a exposição de 1 hora demonstra o aumento significativo tanto da corrente como da potência se comparado com o corante N-3 com a pasta transparente a eficiência de (9,15 e⁻⁵%) e a com o corante N-719 (4,50 e⁻⁵%).

A partir dos parâmetros fotovoltaicos, percebe-se que o corante N-719 apresenta propriedades sensibilizantes maiores do que o corante N-3.

Figura 35: Curva I vs E 2 horas de exposição pasta TiO₂ transparente

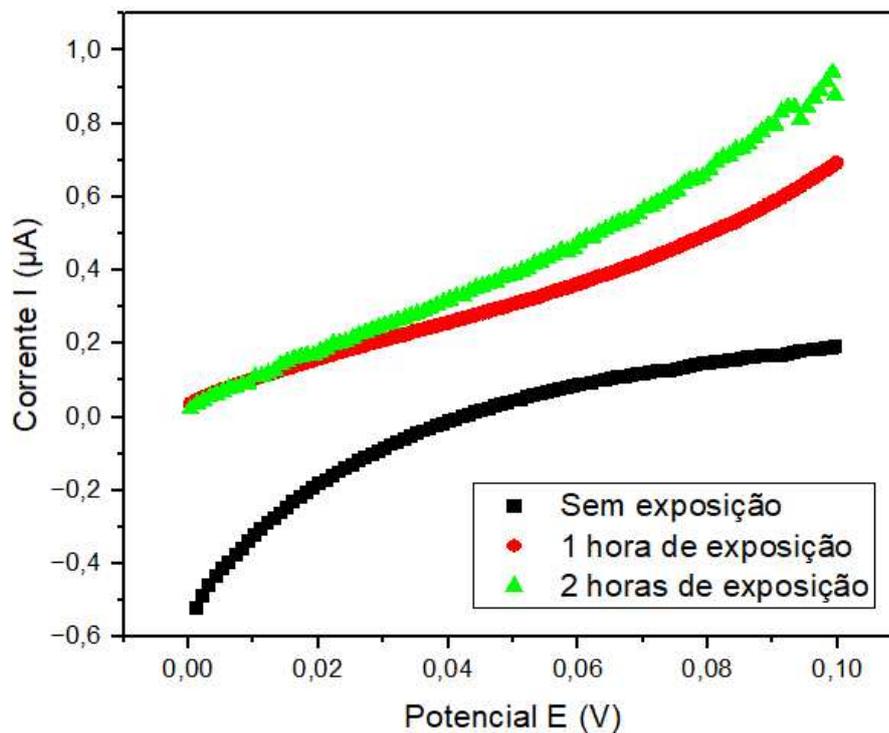


Fonte: Autor, 2023.

A exposição de 2 horas para os parâmetros fotovoltaicos espera-se os melhores resultados, conseqüentemente maiores valores de potência, corrente e eficiência. A partir do gráfico nota-se que para a exposição de 2 horas os resultados tiveram um aumento.

A figura 36, representa todas as curvas para as diferentes exposições solares a critério de visualização e comparação de resultados.

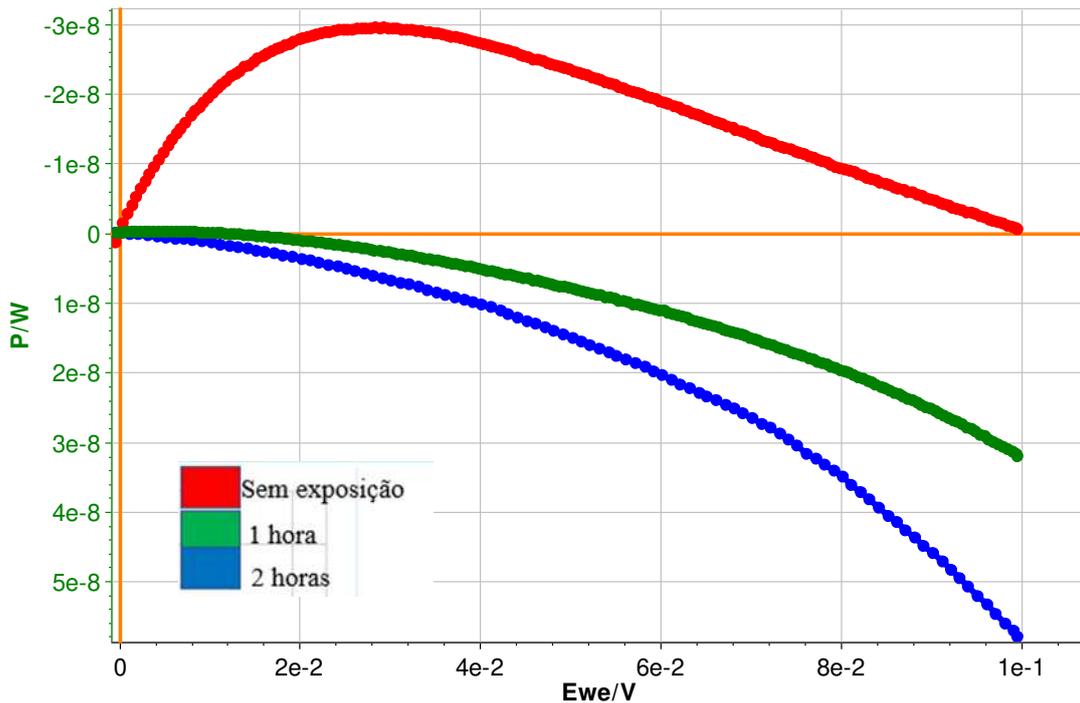
Figura 36: curva I vs E comparação de resultados sem exposição três exposições



Fonte: Autor, 2023.

Portanto, ao analisar o gráfico o corante N-3 com a pasta transparente obteve a eficiência de $6,09e^{-5}$ %, em contrapartida o corante N-719 e a pasta transparente a eficiência subiu para $1,11e^{-4}$ %, indicando que o corante N-719 é um sensibilizador mais eficiente. E a maior exposição solar apresenta os resultados melhores.

Figura 37: Curva E vs. P comparação corante N-719 três exposições pasta transparente



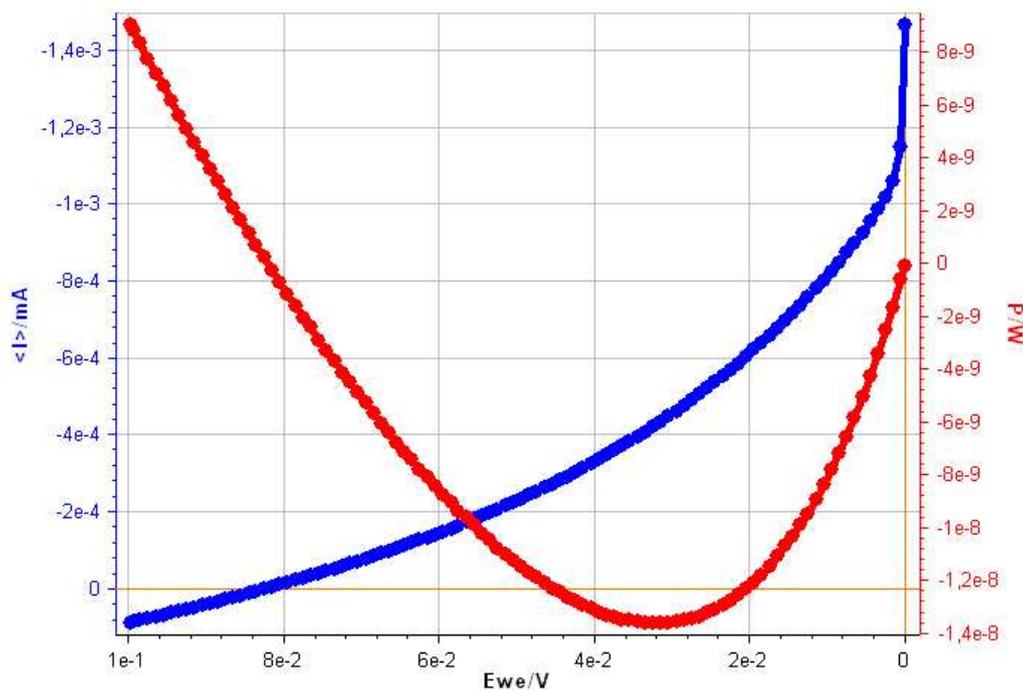
Fonte: Autor, 2023.

O aumento da eficiência conforme a exposição solar aumenta, sem exposição ($2,146 \times 10^{-5} \%$) e com 2 horas de exposição aumentou para ($1,11 \times 10^{-4} \%$). Além disso, os demais parâmetros também aumentaram a exemplo da potência máxima que estava em $21,47 \mu\text{W}$ e subiu para $0,111 \text{ mW}$. Os resultados corroboram com a literatura, assim como, indica o bom funcionamento da célula solar sensibilizada com o corante N-719.

5.6 Eficiências pasta de dióxido de titânio transparente corante N-3

Figura 28, a curva corrente vs. Potencial vs. Potência para o corante N-3 com a pasta de dióxido de titânio transparente.

Figura 38: Curva I vs. E vs. P sem exposição corante N-3 e a pasta transparente



Fonte: autor, 2023.

O corante N-3 apresentou melhor afinidade optoeletrônica com a pasta de dióxido de titânio transparente pois para a opaca a potência apresentou ($1,4 \text{ e}^{-8} \text{W}$) e corrente ($-5 \text{ e}^{-5} \text{mA}$) enquanto para a transparente subiu a potência para ($-1,4 \text{ e}^{-3} \text{W}$) e corrente ($8 \text{ e}^{-9} \text{mA}$) (JALALI, et al. 2020). As análises todas executadas em triplicata e as tabelas são as médias obtidas dos resultados encontrados, o corante N-3 apresentou os melhores resultados para a pasta de dióxido de titânio transparente, a tabela 14, a seguir, detalha a média dos parâmetros e indica os resultados encontrados para o corante N-3 sem exposição.

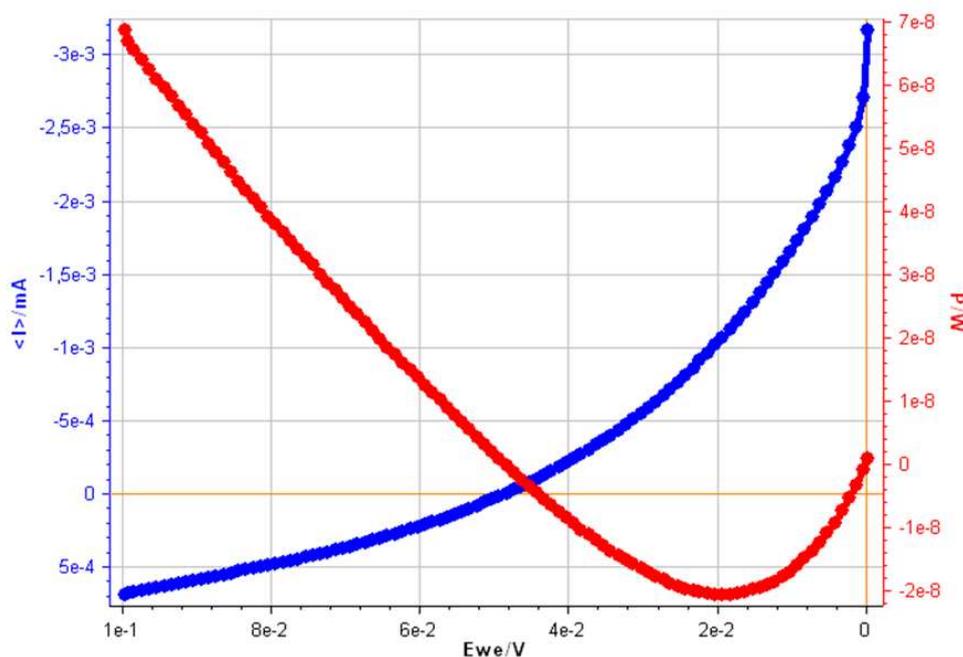
Tabela 4: Parâmetros fotovoltaicos corante N-3 pasta de dióxido de titânio transparente sem exposição

| Parâmetros pasta transparente N3 | | | |
|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Parâmetros | Sem exposição | 1 hora de exposição | 2 horas de exposição |
| Isc | -1,611 μA | -1,46 μA | -1,346 μA |
| Eoc | 0,077 mV | 6,102 mV | -12,856 mV |
| PT | 0,222 μmW | 0,486 μmW | 0,083 μmW |
| Pmax | 14,69 μmW | 0,091 mmW | 0,061 mmW |
| FF | 29,5 % | 24,66 % | 94,33 % |
| Pin | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² | 1000,0 W/m ² |
| S | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² | 1,000 cm ² |
| Eficiência | 2,15 e ⁻⁵ % | 9,15 e ⁻⁵ % | 6,09e ⁻⁵ % |

Fonte: Autor, 2023.

A eficiência para a pasta de dióxido de titânio opaca com o corante N-3 (14,4e⁻⁶ %) e para a transparente (2,15e⁻⁵ %), ou seja, a pasta transparente apresentou os melhores resultados para o corante N-3. A figura 39, representa a curva Corrente vs. Potencial vs. Potência para 1 hora de exposição corante N-3 e a pasta de dióxido de titânio transparente.

Figura 39: curva I vs. E vs. P corante N-3 e a pasta transparente 1 hora de exposição

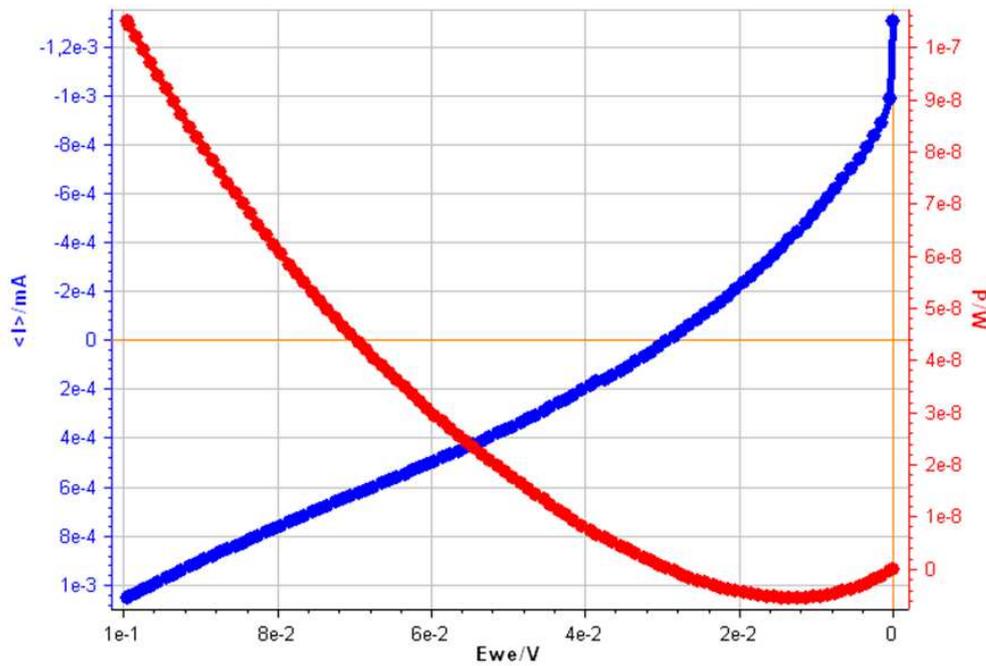


Fonte: Autor, 2023.

Conforme aumenta a exposição solar os resultados também aumentam e melhoram significativamente a eficiência da célula.

Os parâmetros aumentaram com ênfase para a potência máxima que é bem importante para funcionamento de uma célula fotovoltaica saiu de sem exposição (14,69 μmW) para 1 hora de exposição (0,091 mW). Os demais parâmetros também apresentam aumentos significativos.

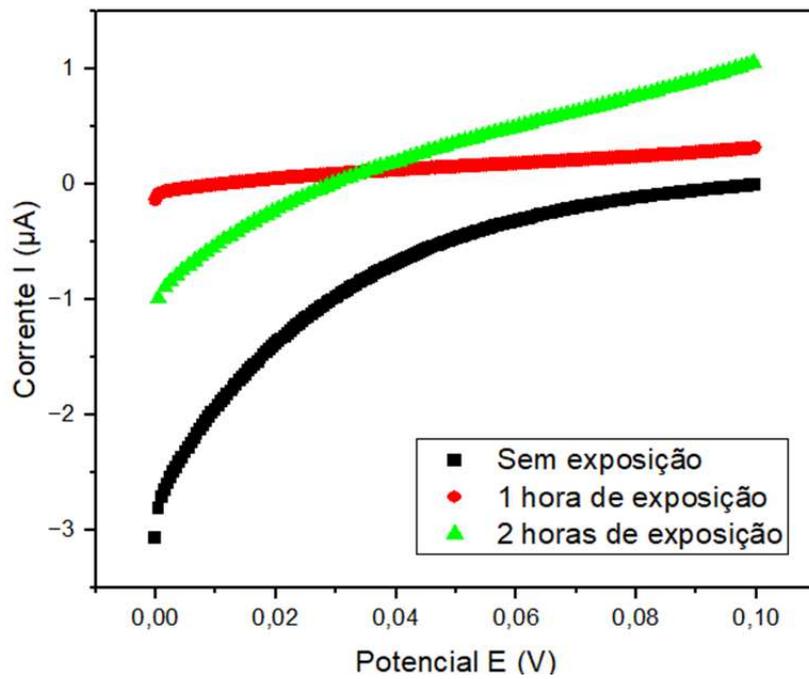
Figura 40: Curva I vs. E. vs. P corante N-3 e a pasta transparente 2 horas de exposição



Fonte: Autor, 2023.

Os parâmetros fotovoltaicos também apresentou os melhores resultados, se comparado com o corante N3 utilizando a pasta opaca isto se deve ao mecanismo de injeção de elétrons e transporte de carga que aumentou a eficiência, e com a troca da pasta de dióxido de titânio indica que altera positivamente e negativamente as propriedades elétricas da célula o que torna uma etapa imprescindível verificar a afinidade do corante com a pasta de titânio para obter melhores resultados e eficiências (VALERIO, et al. 2019).

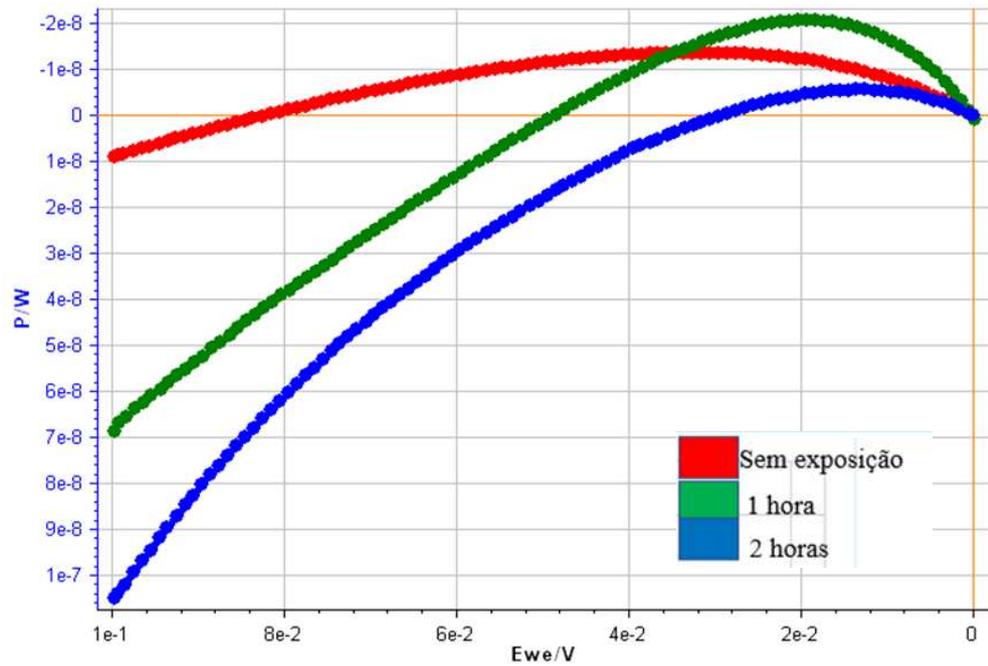
Figura 41: Curva I vs. E corante N-3 e a pasta transparente comparação das três exposições



Fonte: autor, 2023.

É válido salientar que a compatibilidade entre o vidro condutor e o fotoeletrodo é extremamente importante pois se houver incompatibilidade ocorre uma formação de camada de interface desordenada, cuja espessura depende diretamente da condição de deposição e da qualidade do substrato, ou seja, depende diretamente da pasta de dióxido de titânio. E quanto maior a compatibilidade melhores os resultados encontrados (GRIGOROV, et al. 2020)

Figura 42: Curva de comparação E vs. P com os tempos de 1 hora, 2 horas e sem exposição corante N-3 pasta transparente



Fonte: Autor, 2023.

A figura 42, ilustra que a exposição de 2 horas também apresenta os melhores resultados de potência máxima.

6 CONCLUSÃO

Diante do exposto é possível destacar que o corante com as melhores eficiências apresentadas, foi o N-719, com a pasta de dióxido de titânio opaca devido a afinidade eletrônica ter sido mais compatível, e a adesão entre o vidro condutor e o fotoeletrodo ocorrer de maneira efetiva, a adsorção de moléculas do corante aumentaram, ocasionando uma maior excitação das moléculas de corante, por isso, o corante N-719 se mostrou eficiente para utilização em células solares sensibilizadas por corante.

O revestimento do óxido de grafeno não bloqueou os fótons solares que são sensíveis ao *bandgap* do corante N-719 e tem uma maior afinidade eletrônica com o dióxido de titânio, tanto para a pasta transparente como para a opaca, o corante N-719 apresentou resultados superiores se comparado com o N3.

Sendo assim, o corante N3 apresentou propriedades sensibilizadores inferiores ao corante N-719. Entretanto, o corante N3 também se apresenta como um bom sensibilizante e a melhor afinidade eletrônica com a pasta de dióxido de titânio transparente com $6,09 \cdot 10^{-5} \%$ e com a pasta opaca caiu para $62,8 \cdot 10^{-6}$.

O corante N-719 com a pasta transparente obteve a eficiência de $1,11 \cdot 10^{-4} \%$ e para a pasta opaca a eficiência subiu para $0,174 \cdot 10^{-3} \%$ isto se deve ao mecanismo de injeção de elétrons e transporte de carga que aumentou a eficiência, e com a troca da pasta de dióxido de titânio indica que altera positivamente e negativamente as propriedades elétricas da célula.

Além disso, o método modificado de Hummers, se mostrou eficaz na preparação do óxido de grafeno e o material se mostrou promissor para utilização em CSSC. Portanto, conclui-se que a preparação, montagem, quantidade de eletrólito da célula e a pasta de titânio interfere diretamente nos resultados.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERMANN, C., Crise ambiental e as energias renováveis. Ciência e cultura vol.60 n.3 São Paulo, setembro de 2008.

BEZERRA.F.D., Energia Solar. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, Ano 6, julho de 2021.

BSW SOLAR - GERMAN SOLAR INDUSTRY ASSOCIATION. A energia solar nos países em desenvolvimento e emergentes. 2015. Disponível em: <<http://www.solarwirtschaft.de/en/start/english-news.html>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

CHEN, J., YAO, B., LI, C., et al., “An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide”, Carbon, v. 64, pp. 225-259, jul. 2013.

CHRIST, I. S.; ALMEIDA, K. N.; OLIVEIRA, V. G.; OLIVEIRA, M. C.; SANTOS, M. J. L.; ALTZ, N. R., Célula solar na escola: como construir uma célula solar sensibilizada por corantes naturais. Química Nova Vol. 41, N° 4, p. 394-398. São Paulo, 2020. <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160180>

COUTINHO, N. F. C., Células solares sensibilizadas por corante. Dissertação de mestrado. UNICAMP, Instituto de Física “Gleb Watghin”, Campinas, 2014.

CUNHA, V. R. Otimização da junção de topo de InGaP em células solares de junção tripla para aplicação espacial. 2018. Dissertação de mestrado. PUC-Rio.

<https://www.electricalibrary.com/2017/07/24/como-paineis-solares-fotovoltaicos-funcionam-parte-1/> acesso em 20 de julho de 2023.

FAN, J., GAO, K., ZHANG, P., DANG, Y., Y., ZHANG, B. Direct transformation of fossil carbon into chemicals: A review[J]. Journal of Energy Chemistry, 2023, 77(2): 247-268.

FLOYD, T. L. Eletronic devices: conventional current version. p.17 9th edition, 2012.

GOLDEMBERG, J., LUCON, O., Energia e meio Ambiente no Brasil. Estudos Avançados, São Paulo, 2007.

GRASSI, C. A. O. Potencial de Geração de Energia Elétrica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede e Integrado a uma Edificação na Orla de Porto Alegre: Verificação do Tempo de Retorno do Investimento. Porto Alegre, p. 88, 2015.

GRIGOROV, K.; LIBARDI, J.; MORAES, R.; SOBRINHO, A. S. S.; OLIVEIRA, M. S.; LEITE, D. M. G. Nanoestruturas de dióxido de titânio cultivadas por DC/HiPIMS duplo para aplicações em células solares sensibilizadas por corante. Pesquisa de Materiais, v. 23, p. e20200218, 2020. Doi: 10.1590/1980-5373-MR-2020-0218.

HAACK, M.S. Identificação e caracterização de materiais por espectroscopia Raman. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, instituto de Física. Porto Alegre, 2015.

HIEU. N.H. Graphene-Based Material for Fabrication of Electrodes in Dye-Sensitized Solar Cells. IntechOpen, 2021.

IEA-International Energy Agency. World Energy Outlook, 2021.

IMHOFF, J. Desenvolvimento de Conversores Estáticos para Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007.

JALALI, T.; ARKIAN, P.; SOLATI. Z.; JALALI, M. Improving of Safranin-O characteristics as a photosynthesis through adjusting pH value in dye-sensitized solar cells. ECS Journal of Solid State Science and Technology, v. 9, n. 6, p. 065022, 2020.

LANA, L. T. C.; ALMEIDA, E.; DIAS, F. C. L. S.; ROSA, A. C.; SANTOS, O. C. E.; SACRAMENTO, T. C. B.; BRAZ, K. T. M. Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. Engenharias online, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015. Disponível em: <http://fumeec.br/revistas/eol/article/view/3574>. Acesso em: 9 jun. 2023

LOBO, A.O, MARTIN A. A., ANTUNES, E. F., TRAVA-AIROLDI V. J., CORAT E. J., Caracterização de materiais carbonosos por espectroscopia RAMAN. Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo, v. 24, n. 2,98- 103, 2005.

MACIEL, R. B., BANCZEK E. P., ALVES G.J.T., RODRIGUES P.R.P., aplicação da sinergia entre corante sintético n719 e naturais do gênero oenocarpus em células solares sensibilizadas por corantes. Atena, p. 147, 2020.

MACHADO, C. T.; MIRANDA, F. S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. *Revista virtual de química*, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.

MAYHEW. R. J.D, AKSAY I.A. Graphene materials and their use in dye- sensitized solar cells. *Chemical Reviews*. 2014;114(12):6323-6348. DOI: 10.1021/cr400412a.

MOHAN V.B, LAU K.T, HUI D, BHATTACHARYYA D. Graphene-based materials and their composites: A review on production, applications and product limitations. *Composites Part B: Engineering*. 2018; 142:200-220. DOI: 10.1016/j.compositesb.2018.01.013.

MUCHUWENI, E.; MARTINCIGH, B. S.; NYAMORI, V.O., Recent advances in graphene-based materials for dye-sensitized solar cell fabrication, *RSC Advances*, Journal article, 2020. DOI: 10.1039/d0ra08851j.

NASCIMENTO, C. Princípio de Funcionamento da Célula Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2004. 23 f.

NAZEERUDDIN, M. K.; KAY, A.; RODICIO, I.; HUMPHRY-BAKER, R.; MUELLER, E.; LISKA, P.; VLACHOPOULOS, N.; GRAETZEL, M. Conversion of light to electricity by cis-X₂bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylate) ruthenium(II) charge-transfer sensitizers (X = Cl-, Br-, I-, CN-, and SCN-) on nanocrystalline titanium dioxide electrodes, M. K. Nazeeruddin et al., *J. Am. Chem. Soc.*, 115 (14), 6382–6390 (1993); DOI: 10.1021/ja00067a063.

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

TRACTZ, G. T.; DIAS, B. V.; BANCZEK, E. P.; DA CUNHA, M. T.; ALVES, G. J. T.; RODRIGUES, P. R. P. Células Solares Sensibilizadas por Corante (CSSC): Perspectivas, Materiais, Funcionamento e Técnicas de Caracterização. *Rev. Virtual Quim*, p. 748–774, 2020. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20200060>.

RASHED, M. N. Adsorption Technique for the Removal of Organic Pollutants from Water and Wastewater. *Organic Pollutants - Monitoring, Risk and Treatment*, p. 167–194, 2013.

SEGUNDO, J. E. D. V.; VILAR, E. O. Grafeno: Uma revisão sobre propriedades, mecanismos de produção e potenciais aplicações em sistemas energéticos. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 11, n. 2, p. 54-57, 2016.

SEVERINO, M.& OLIVEIRA, M. Fontes e Tecnologias de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas. *Energia, Economia, Rotas Tecnológicas: textos selecionados*, Palmas, ano 1, p. 265-322, 2010.

<https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/product/aldrich/703214> acesso em 19 de julho de 2023

SOUZA, L. P. Híbridos de Nanotubos de Carbono e Hematita: Síntese e Caracterização. Dissertação de mestrado. Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2011.

STYLIANAKIS, M. M. et al. Updating the role of reduced graphene oxide ink on field emission devices in synergy with charger transfer materials. *Nanomaterials*, v. 9, n.2, jan. 2019.

VALERIO, T. L.; ARIELO, G.; MAIA, R.; GONÇALVES, L.F.; VIOMAR, L.; BACZECK, E. P. Study of the Nb 2 O 5 insertion in ZnO to dye-sensitized solar cells. *Materials Research*, v. 22, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0864>.

VIDAL, R. R. L.; MORAES, J. S. Removal of organic pollutants from wastewater using chitosan: a literature review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 16, p. 1741–1754, 2019.

VITORETI, A.B.F.; CORREA, L.B.; RAPHAEL, E.; PATROCÍNIO, A.O.T.; NOGUEIRA, A.F.; SCHIAVON, M. A. Células solares sensibilizadas por Pontos Quânticos. *Química Nova*, v. 40, 436, 2017.

ZARBIN, A. J. G., OLIVEIRA, M. M. Nanoestruturas de carbono (nanotubos, grafeno): Quo Vadis. *Química Nova*, v. 36, p. 1533-1539, 2013.

ZHU Y., MURALI S., CAI W., LI X., SUK J.W., POTTS J.R, et al. Graphene and graphene oxide: Synthesis, properties, and applications. *Advanced Materials*. 2010;22(35):3906-3924. DOI: 10.1002/ adma.201001068