

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

JOYCE EUCLIDES DE LIMA

**CARBON DOTS DERIVADOS DAS CASCAS DE MARACUJÁ SINTETIZADOS
VIA MICRO-ONDAS E SUA APLICAÇÃO NA CONFEÇÃO DE FILMES
FLUORESCENTES**

MACEIÓ
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
GRADUAÇÃO EM QUÍMICA TECNOLÓGICA E INDUSTRIAL

JOYCE EUCLIDES DE LIMA

**CARBON DOTS DERIVADOS DAS CASCAS DE MARACUJÁ SINTETIZADOS
VIA MICRO-ONDAS E SUA APLICAÇÃO NA CONFEÇÃO DE FILMES
FLUORESCENTES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Instituto de Química e Biotecnologia da
Universidade Federal de Alagoas, como
requisito parcial para obtenção do grau de
bacharel em Química Tecnológica Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Cintya Barbosa
Coorientadora: Ledja Brittes de O. Davi

MACEIÓ
2023

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Betânia Almeida dos Santos – CRB-4 – 1542

L732c Lima, Joyce Euclides de.
Carbon dots derivados das cascas de maracujá sintetizados via
micro-ondas e sua aplicação na confecção de filmes fluorescentes /
Joyce Euclides de Lima. – 2023.
46 f. : il. color.

Orientadora: Cintya D. Angeles do Espirito Santo Barbosa.
Coorientadora: Ledja Brites de Oliveira Davi de Vasconcelos.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Química
Tecnológica e Industrial) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto
de Química e Biotecnologia. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 41-46.

1. Carbon dots. 2. Nanopartículas. 3. Biomassa. 4. Maracujá. 5. Filmes
fluorescentes. I. Título.

CDU: 535.37 : 582.842.7

FOLHA DE APROVAÇÃO

JOYCE EUCLIDES DE LIMA

CARBON DOTS DERIVADOS DAS CASCAS DE MARACUJÁ SINTETIZADOS VIA MICRO-ONDAS E SUA APLICAÇÃO NA CONFEÇÃO DE FILMES FLUORESCENTES

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Química Tecnológica e Industrial.

Banca Examinadora



LEDJA BRITTES DE OLIVEIRA DAVI DE VASCONC

Data: 26/10/2023 06:59:20-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Ledja Brittes de O. Davi
(Coorientadora) (IQB-UFAL)



Documento assinado digitalmente

CINTYA D ANGELES DO ESPIRITO SANTO BARBO

Data: 31/10/2023 22:03:02-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Cintya D Angeles do Espirito Santo Barbosa
(Orientadora) (IQB-UFAL)

 **FRANCINE SANTOS DE PAULA**
Data: 31/10/2023 16:48:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador
(Francine Santos de Paula) (IQB-UFAL)

 **VANIA DE LOURDES DAS GRACAS TELES**
Data: 28/10/2023 14:56:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador
(Vânia de Lourdes das Graças Teles) (CTEC-UFAL)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que esteve comigo o tempo todo, me ajudando, cuidando e guiando meus passos durante essa jornada, e por ter me lembrado que sobre mim não cessarão os seus renovos, a Ele dedico tudo o que tenho.

Agradeço a minha família, Ducirlene, Gilson, Janyne e Jamyle por estarem sempre comigo.

Agradeço ao Anderson, meu companheiro, que em todos os momentos acreditou em mim e me animou.

Agradeço a Cintya e Ledja pela paciência e por conseguirem tirar o melhor de mim.

Agradeço a toda a equipe do LumiAm pelos quais tenho grande admiração, são muito talentosos e me ajudaram sempre que precisei.

Agradeço a UFAL e aos professores que passaram por minha vida, agradeço por exatamente tudo, todos contribuíram para meu crescimento de alguma forma.

A todos meu muito obrigada!

RESUMO

A busca por métodos que viabilizem a utilização de biomassas para fins rentáveis é cada vez mais crescente, uma vez que ao utilizar resíduos para sintetizar novos produtos, estes recebem um destino mais nobre e sustentável. Dentre os vários produtos que são obtidos a partir de biomassa, encontram-se os *carbon dots* (C-Dots). Essas nanopartículas luminescentes de carbono vem ganhando destaque devido a baixa toxicidade, alta dispersão em água, biocompatibilidade, emissão de luz sintonizável e baixo custo, tendo assim um vasto campo de aplicações. Diante do exposto, neste trabalho as cascas do maracujá foram utilizadas como material precursor para sintetizar C-Dots via método de micro-ondas visando sua aplicação na produção de filmes fluorescentes à base de álcool polivinílico (PVA) e carboximetilcelulose. A síntese foi realizada com variação de tempo e potência a fim de avaliar os efeitos nas propriedades óticas e estruturais. De forma geral, as sínteses realizadas em maior potência exibiram maior rendimento. Os C-Dots sintetizados apresentaram absorções características de transições $\pi - \pi^*$ (230 nm) das ligações C=C do núcleo e $n - \pi^*$ (286 nm) dos grupos de superfície, a exemplo de C=O. Os C-Dots exibiram estiramentos vibracionais característicos de ésteres, ácidos carboxílicos e álcoois como esperado, uma vez que esses grupos estão presentes na fruta. Os C-Dots apresentaram emissão dependente do comprimento de onda de excitação com máximo de emissão no azul em 450 nm sob excitação em 340 ou 360 nm. As propriedades estruturais e óticas supracitadas de forma geral não foram alteradas com a alteração do tempo e da potência durante o processo de síntese. Além disso, os filmes foram sintetizados a partir da amostra de maior rendimento, os quais apresentaram alta luminescência no azul, flexibilidade e transparência. Por fim, os C-Dots foram sintetizados de forma rápida e econômica, se mostrando altamente viável na produção de filmes fluorescentes promissores para diversas aplicações, dentre elas como sensores óticos.

Palavras-chaves: nanopartículas, biomassa, maracujá, filmes.

ABSTRACT

The search for methods that make it possible to use biomass for profitable purposes is growing, since using waste to synthesize new products gives them a more noble and sustainable destination. Among the various products obtained from biomass are carbon dots (C-Dots). These luminescent carbon nanoparticles have been attracting attention due to their low toxicity, high dispersion in water, biocompatibility, tunable light emission and low cost, thus providing a wide range of applications. In view of the above, in this work passion fruit peels were used as a precursor material to synthesize C-Dots via the microwave method with a view to their application in the production of fluorescent films based on polyvinyl alcohol (PVA) and carboxymethylcellulose. The synthesis was carried out with variations in time and power in order to evaluate the effects on optical and structural properties. In general, the syntheses carried out at higher power had higher yields. The C-Dots synthesized showed absorptions characteristic of the $\pi - \pi^*$ transitions (230 nm) of the core C=C bonds and the $n - \pi^*$ transitions (286 nm) of the surface groups, such as C=O. The C-Dots exhibited vibrational stretching typical of esters, carboxylic acids and alcohols, as expected, since these groups are present in the fruit. The C-Dots showed excitation wavelength-dependent emission with a blue emission maximum at 450 nm under excitation at 340 or 360 nm. The aforementioned structural and optical properties were generally not altered by changing the time and power during the synthesis process. In addition, the films were synthesized from the sample with the highest yield, which showed high blue luminescence, flexibility and transparency. Finally, the C-Dots were synthesized in a fast and economical way, proving to be highly viable in the production of promising fluorescent films for various applications, including optical sensors.

Keywords: nanoparticles, biomass, passion fruit, films.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Esquema representativo da estrutura esférica dos Carbon dots com os defeitos de superfície	13
Figura 2 Diferenças estruturais apresentadas no núcleo dos PQGs, CNDs e CPDs	14
Figura 3 Esquema ilustrativo dos métodos <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	15
Figura 4 Esquema simplificado do processo de luminescência	18
Figura 5 Transições eletrônicas e níveis de energia	19
Figura 6 Esquema representativo do procedimento de síntese realizado	28
Figura 7 a) Espectros de FTIR para dos C-Dots; b) Espectros de FTIR para os C-Dots com região ampliada de 2000 nm a 750 nm para melhor visualização das bandas	33
Figura 8 Espectros de UV-Vis dos C-Dots	34
Figura 9 C-Dots em luz ambiente e sob irradiação UV	35
Figura 10 Espectros de emissão dos C-Dots: a) CD60-P6, b) CD60-P8, c) CD60-P10, d) CD90-P6, e) CD90-P8 e f) CD90-P10	37
Figura 11 Diferença de emissão dos C-Dots sintetizados em um único comprimento de onda (340nm)	38
Figura 12 Filmes formados a partir dos C-Dots e suas propriedades	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Trabalhos reportados na literatura de Carbon dots a partir do maracujá	22
Tabela 2	Trabalhos reportados na literatura de filmes a partir de Carbon dots	25
Tabela 3	Pureza e origem dos reagentes e solvente utilizados	27
Tabela 4	Esquema da metodologia aplicada para a síntese dos Carbon dots	29
Tabela 5	Resultados do rendimento de síntese dos C-dots.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1	Breve histórico, definição e estrutura	13
2.2	Métodos de síntese dos Carbon dots	14
2.2.1	Método de síntese de Carbon dots via micro-ondas	16
2.3	Propriedades dos <i>Carbon dots</i>	16
2.4	Carbon dots verdes	19
2.5	FILMES FLUORESCENTES À BASE DE <i>CARBON DOTS</i>	22
3	OBJETIVOS	26
3.1	Objetivo geral	26
3.2	Objetivos específicos.....	26
4	EXPERIMENTAL	27
4.1	Reagentes e Solvente	27
4.2	Sínteses de <i>Carbon dots</i> derivados da cascas de maracujá pelo método de micro-ondas	27
4.3	Filmes fluorescentes.....	29
4.4	Rendimento da síntese.....	30
4.5	Caracterizações	30
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1	Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	32
5.2	Espectrometria de absorção (UV-Vis).....	34
5.3	Espectroscopia de fotoluminescência	36
5.4	Aplicação dos <i>Carbon dots</i> na confecção de filmes fluorescentes.....	40
6	CONCLUSÃO	41
7	PERSPECTIVAS FUTURAS	42
8	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO GERAL

Descoberto em 2004 de forma acidental por XU e colaboradores (XU et al., 2004) os Carbon dots (C-dots) que são nanopartículas de carbono, de morfologia esférica composta de um núcleo grafítico ligados a grupos funcionais denominados como defeitos, vêm sendo alvo de pesquisas e estudos devido as suas características, como a boa dispersão em água, alta luminescência, baixo custo de produção e uma vasta gama de percussores e possibilidade de diversas aplicações (WU et al., 2017).

O processo de síntese dessas nanopartículas envolve duas abordagens, o método top-down e bottom-up. O método top-down consiste na fragmentação de material de carbono em nanopartículas, já o método bottom-up carboniza pequenas moléculas reagrupando-as para formação de nanopartículas, tratando-se de uma síntese mais controlada (LIU, et al., 2019). Diversos tipos de matéria-prima vêm sendo utilizadas para síntese de C-dots, inclusive percussores verdes.

Diversas sínteses de Carbon dots verdes foram expostas na literatura atualmente, usando como precursores frutas, vegetais, alimentos, bebidas e animais (SHARMA et al., 2017). Dentre essa grande possibilidade encontra-se as cascas de maracujá, uma vez que o Brasil é o líder mundial na produção desse fruto, produzindo anualmente cerca de 602 mil toneladas (IBGE, 2020) e a casca do maracujá totaliza cerca de 60% do seu volume (VÁZQUEZ, 2015).

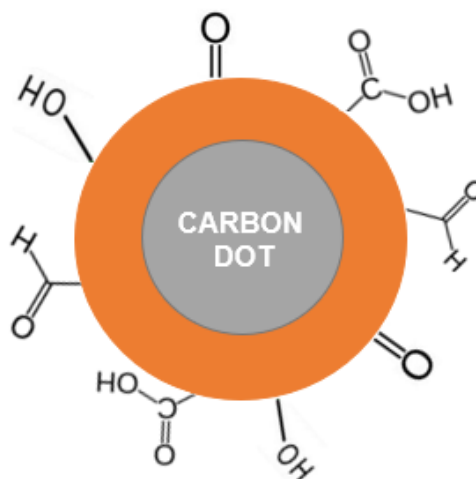
As características dos C-dots lhes possibilitam várias aplicações, dentre elas na bioimagem (LI et al., 2020), sensores fluorescentes (KALYTCHUK et al., 2021), WLEDs (YUAN et al., 2020), incluindo os filmes fluorescentes. Esses filmes são desenvolvidos através da integração entre os polímeros as nanopartículas (ZULFAJRI, 2021). O tamanho pequeno acompanhado do grande número de grupos funcionais de superfície dos C-Dots permite uma forte interação e uma dispersão homogênea dentro dos polímeros que apresentam diversas vantagens como uma grande estabilidade química, menor toxicidade e alta biocompatibilidade. Por isso é possível destiná-lo a várias aplicações nas industriais, comércio e medicina (SANTOS, 2019).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Breve histórico, definição e estrutura

A descoberta dos pontos de carbono, conhecidos como *carbon dots* (C-Dots), ocorreu no ano de 2004 de forma acidental durante o processo de purificação de nanotubos de carbono através do método de eletroforese (XU et al., 2004). Desde então, o interesse por este material aumentou, e por isso pesquisadores do mundo inteiro vêm estudando suas propriedades, aplicações e as distintas formas possíveis de sintetizá-las (JUNIOR, 2020). A estrutura dos *carbon dots* se baseia em um núcleo grafitico, formados por fragmentos de grafeno empilhados, podendo ser cristalino, semicristalino ou amorfo, que por meio de ligações covalentes se liga a grupos funcionais, conhecidos como “defeitos”, o que pode lhe conceder diferentes características, como por exemplo diferentes emissões (KUMAR et al., 2015), figura 1. Os C-Dots normalmente têm diâmetros entre 1 à 10 nm e morfologia esférica (XU, et al., 2004).

Figura 1: Esquema representativo da estrutura esférica dos Carbon dots com os defeitos de superfície.



Fonte: AUTORA, 2023.

Atualmente, os pontos de carbono são divididos em três classes de acordo com a estrutura do núcleo como apresenta a figura 2. Os pontos quânticos de

grafeno (PQGs) contém em seu núcleo uma estrutura de grafeno e grupos funcionais nas superfícies, os quais são originados dos precursores. Os nanopontos de carbono (CNDs) possuem uma forma esférica e estrutura amorfa, eles podem conter uma rede cristalina semelhante a grafite. Os pontos de polímero carbonizado (CPDs), os quais podem apresentar cadeias poliméricas agregadas em torno de um núcleo de carbono (CAETANO, 2022).

Figura 2: Diferenças estruturais apresentadas no núcleo dos PQGs, CNDs e CPDs.



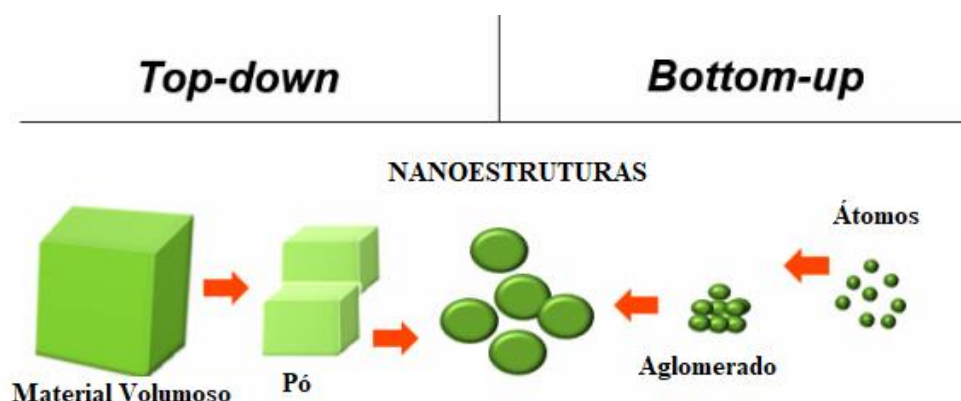
Figura 2: Adaptada de CAETANO, 2022.

Suas diversas aplicações são resultado de sua propriedade ótica única, baixa toxicidade, alta biocompatibilidade, fluorescência em uma ampla região do visível, resistência à fotodecomposição, alta dispersão aquosa e baixo custo de produção (LI et al., 2022). Uma das principais características dos *carbon dots* é sua variabilidade química superficial, pois eles podem ter diversos grupos funcionais em sua superfície e suas características físico-químicas podem ser ajustadas no processo de síntese de acordo com sua futura aplicação (CUI, L et al., 2021).

2.2 Métodos de síntese dos Carbon dots

Existem dois métodos para sintetizar os *carbon dots*, são eles: *top-down* e *bottom-up*, estão representados na figura 3.

Figura 3: Esquema ilustrativo dos métodos *top-down* e *bottom-up*.



Fonte: Adaptado de Dias, 2015.

O *top-down*, tem como objetivo a fragmentação de materiais de carbono, como por exemplo o grafite, grafeno, carvão ativado, nanotubos de carbono, entre outros, o que pode ocorrer por meios químicos ou físicos, podendo ser oxidados e transformado em *carbon dots* (LIU, et al., 2019). Nesse sentido, podem ser utilizados diferentes métodos eletroquímicos, como a oxidação ácida, esfoliação ultrassônica, ablação a laser entre outros. Porém, essas reações são onerosas e tem alto custo, o que acabam por ser desvantagens desse método (SHARMA et al., 2019).

Já no método *bottom-up* pequenas moléculas formam novas ligações para produzir estruturas nanométricas. Os C-Dots são formados basicamente em quatro importantes etapas, são elas: A condensação, na qual os precursores de pequenas moléculas orgânicas podem formar cadeias de compostos intermediários; a polimerização, na qual os intermediários, anteriormente formados, se ligam por ligações covalentes ou não covalentes, formando cadeias poliméricas; a carbonização, na qual os polímeros são carbonizados para formar o núcleo do C-Dots em altas temperaturas; a passivação, na qual alguns precursores de resíduos podem modificar a superfície do C-Dots. Essas sínteses podem ocorrer por diversos métodos a exemplo do tratamento hidrotérmico, ablação a laser, oxidação eletroquímica, síntese ultra-sônica. Dentre estes, o método via micro-ondas tem recebido destaque por ser rápido, com excelente rendimento e baixo custo (YANG et al., 2017).

2.2.1 Método de síntese de Carbon dots via micro-ondas

As reações químicas que são provenientes da irradiação via micro-ondas acontecem devido a capacidade que as moléculas polares têm de absorverem a radiação micro-ondas e convertê-las em calor por aquecimento dielétrico, sofrendo uma rotação molecular quando irradiadas (MEDEIROS et al., 2019). O solvente utilizado influencia bastante no resultado da reação, alguns deles têm maior capacidade de converter a energia eletromagnética cedida pelo micro-ondas em calor, e essa capacidade de conversão é expressa pelo fator de perda ($\tan \delta$) que indica se os solventes como absorvedores de micro-ondas fortes, médios ou fracos. Ou seja, quanto maior o $\tan \delta$ de um determinado solvente, mais rápido e mais eficiente seu processo de aquecimento por micro-ondas. O solvente utilizado neste trabalho foi a água, a qual é um bom solvente absorvedor (CAETANO et al., 2022).

Uma vantagem desse método é o rápido tempo de síntese e o fato de o aquecimento ser uniforme pelas ondas de micro-ondas, o que evita reações paralelas ou incompletas, o que pode facilitar na etapa de purificação. Além do baixo custo, facilidade de manipulação e o fato de ser realizado a síntese em apenas uma etapa (MEDEIROS et al., 2019). Alguns trabalhos relatam sínteses que podem levar cerca de 30 segundos para produzir C-dots, que é bem rápido em relação a outros métodos que facilmente ultrapassam a marca de horas (RIGODANZA et al., 2021). Neste trabalho utilizou-se o comparativo de tempo de um minuto e um minuto e trinta segundos de síntese. A principal desvantagem do método de micro-ondas é o fato de se tratar de um aparelho pequeno limitando a sua escalabilidade, porém essa desvantagem pode ser amenizada devido a rapidez desse em relação a outros métodos, o que possibilita realizar diversas sínteses em poucas horas (LI et al., 2021).

2.3 Propriedades dos *Carbon dots*

Os *carbon dots* são formados basicamente por carbono, oxigênio e nitrogênio, mas podem conter diferentes átomos, e a porcentagem de cada um

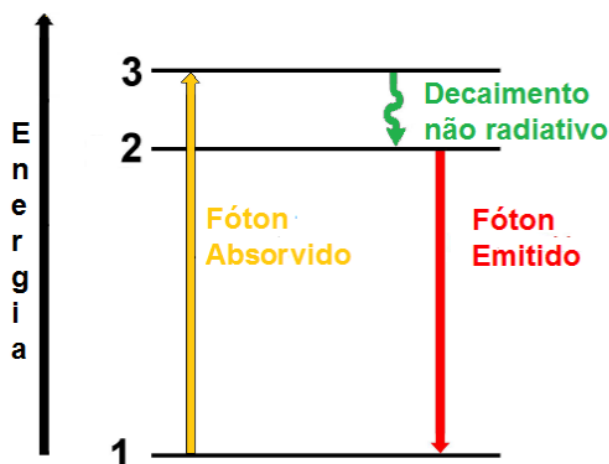
deles varia de acordo com o tipo de síntese, reagentes utilizados, e no caso dos *carbon dots* verdes, a biomassa escolhida também influencia na composição (OLIVEIRA, 2013). Assim como a composição, as propriedades luminescentes também não são fixas, elas variam de acordo com a composição da molécula.

1.3.1 Absorção, emissão e luminescência dos *Carbon dots*

A luminescência é um termo mais amplo para os métodos empregados com diferentes formas de emissão. Os processos de emissão decorrente de radiação podem ser divididos em dois tipos: a fluorescência e a fosforescência. Porém, ambos são similares por apresentarem a mesma forma de excitação realizada por absorção de fótons e por esse motivo são denominados por um termo mais genérico: fotoluminescência. A fotoluminescência se enquadra como um tipo de luminescência que é um termo mais amplo para os métodos empregados com diferentes formas de emissão (VAZ et al., 2015).

A luminescência pode ser definida como a emissão de luz na faixa do visível, o que varia de 400 a 700 nm, do espectro eletromagnético que acontece em função de uma transição eletrônica, que é o processo no qual um fóton incide sobre uma molécula que absorve energia em quantidade satisfatória para excitar um elétron de um estado fundamental para um estado mais elevado de energia, no qual esse permanece por um tempo muito curto e rapidamente volta para o estado fundamental, liberando a energia absorvida anteriormente em forma de luz visível, como exemplificado na figura 4 (OLIVEIRA, 2013).

Figura 4: Esquema simplificado do processo de luminescência.



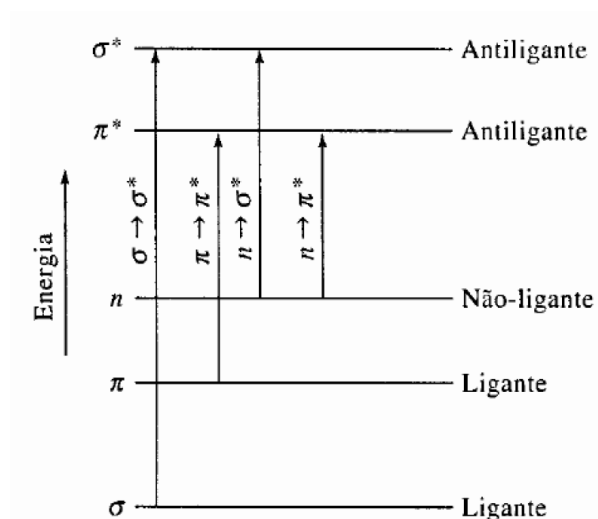
Fonte: MOREIRA, 2015.

Quando uma radiação é incidida de forma contínua sobre uma amostra, apenas parte dela pode ser absorvida, o que gera uma radiação residual, essa é difratada por um componente ótico sendo a responsável pelo espectro de absorção. A absorção é um processo quantizado e ocorre apenas quando a radiação incidente tem a energia necessária para que o fóton absorvido promova a excitação de elétrons, ou seja, sua transição na molécula entre os orbitais ocupados para os orbitais desocupados (VÁZQUEZ et al., 2015). A absorção de radiação eletromagnética necessária para excitação eletrônica ocorrem de um orbital preenchido para um orbital vazio, geralmente do orbital HOMO que é o de mais alta energia para o LUMO que é o orbital vazio de mais baixa energia (DAVI, 2022).

Os elétrons do estado fundamental n e π necessitam de menos energia para excitação, com isso as transições $n \rightarrow \pi^*$ e $\pi \rightarrow \pi^*$ são de menor energia e bastante importantes, como observado na figura 5. A transição $n \rightarrow \pi^*$ ocorre quando um par de elétrons não-ligante recebe energia e vai para um nível de mais alta energia π anti-ligante, essa transição é característica de compostos com oxigênio, enxofre, nitrogênio ou halogênios. Enquanto que a transição $\pi \rightarrow \pi^*$ ocorre em sistemas aromáticos e compostos insaturados, pois quanto maior a o sistema conjugado, menor será a energia necessária para ocorrer a transição, o que é característico em sistemas conjugados e em compostos aromáticos. Nos C-Dots

as transições $\pi \rightarrow \pi^*$ são atribuídas ao núcleo grafítico, enquanto que a $n \rightarrow \pi^*$ é atribuída aos grupos funcionais que variam de acordo com o precursor utilizado para síntese (DAVI, 2022).

Figura 5: Transições eletrônicas e níveis de energia.



FONTE: SKOOG, 2016.

2.4 Carbon dots verdes

Atualmente é crescente o número de estudos visando a obtenção de *carbon dots* verdes, por serem mais baratos, de fácil obtenção e por muitas vezes, se tratarem de resíduos inutilizados e biodegradáveis, além do fato de o precursor verde não interferir em suas propriedades características (SHARMA, 2019).

Os trabalhos pioneiros em síntese verde dessas nanopartículas começam a ter registros no ano de 2012. Nesse ano, um trabalho realizado por HSU, et al., 2012, relata a síntese dessas nanopartículas luminiscentes de carbono utilizando borras de café como precursor carbonáceo, onde foi possível observar uma emissão no azul e um rendimento quântico de 3,8%. Ainda nesse período o trabalho de HSU et al., 2012 fez uso das cascas de melancia como resíduo carbonáceo em uma carbonização de baixa temperatura, a síntese deu origem a carbon dots que possuíam luminescência azul e boa estabilidade em uma vasta variação de valores de pH (sendo eles entre 2,0-11,0).

Existem muitas pesquisas a respeito dos *carbon dots* verdes, uma vez que se tem uma grande variedade de precursores para a obtenção dessa nanopartícula.

2.4.1. *Carbon dots* derivados de biomassa

Biomassa é toda matéria orgânica residual de origem vegetal ou animal que é reaproveitada com a finalidade de ser transformada em novos produtos. Podem ser classificadas como biomassas vegetais, a qual inclui os materiais sacarídeos, celulósicos e amiláceos; biomassa de vegetais lenhosos no caso da madeiras; biomassa de resíduos orgânicos sendo originária de resíduos agrícolas, industriais e urbanos e biomassa de biofluidos, no caso dos óleos vegetais (GOLDEMBERG,2009).

Algumas das vantagens da utilização de biomassa é a variabilidade da composição desse material, devido a possibilidade de ser encontrada a partir de uma grande variedade de materiais, podendo ser empregada para diversos fins. Outro ponto importante é que, ao utilizar resíduos para sintetizar novos produtos, estes estão recebendo um destino mais nobre e sustentável do que o descarte, gerando renda, empregos e desenvolvimento a determinada região (GOLDEMBERG,2009).

2.4.2. A biomassa do maracujá

O maracujá é um fruto produzido durante todo o ano em temperaturas médias de 20 a 32°C (VÁZQUEZ, 2015). O Brasil é o líder mundial na produção de maracujá, produzindo anualmente cerca de 602 mil toneladas (IBGE, 2020). Em Alagoas a produção de maracujá também surpreende, no ano de 2021 o estado cultivou mais de 21 mil toneladas (IBGE, 2021), sendo Coruripe o município líder em produção responsável por 5.720 toneladas, seguido de Capela com o número de 1.970 toneladas e Murici responsável por 1.485 toneladas (IBGE, 2020).

A casca do maracujá totaliza 60% do fruto, que apresenta em sua composição de forma majoritária os grupos fenolíticos e ácidos graxos

poliinsaturados, ou seja, estruturas ricas em carbono, hidrogênio e oxigênio, sendo um material com um bom potencial para síntese de *carbon dots* (VÁZQUEZ, 2015). A grande produção e consumo de maracujá no Brasil resulta em um volume grande de resíduo orgânico dessa fruta, o que traz a necessidade de meios para reutilização dessa biomassa com intenção de diminuir o impacto ambiental e contribuir com a ciência e economia do país.

2.4.3. Carbon dots derivados da biomassa do maracujá

Apesar de ser um tema recente, já existem estudos a respeito da síntese de *carbon dots* a partir do maracujá para diversos fins. O trabalho de Xue Sun et al., 2021 estudou o uso das cascas do maracujá como precursor para síntese de *carbon dots* através do método de micro-ondas, dopado com európio para construção de sonda fluorescente com emissão no vermelho para detecção de tetraciclina, um antibiótico utilizado para diversos fins (Sun et al., 2019).

As cascas podres do maracujá, que geralmente são tratadas como lixo, foi alvo de estudo para Hang Yang et al., 2021, o qual sintetizou e caracterizou os *carbon dots* a partir desse lixo orgânico dando um fim mais nobre, uma vez que os *carbon dots* têm aplicações na medicina através da bioimagem, no meio ambiente pelo poder de detecção de metais contaminantes, na produção de tintas fluorescentes, detecção de digitais, e diversas outras possibilidades (Hang Yang et al., 2021).

Tran et al., 2020 sintetizou *carbon dots*, por meio do método de micro-ondas a 170 °C por 20 min, a partir do suco de maracujá dopado com boro e nitrogênio, para detecção de tetraciclina com intuito de começar a traçar um caminho para o uso de *carbon dots* verdes para detecção sensível de drogas, antibióticos, compostos orgânicos e biomarcadores (TRAN et al., 2020).

Esse mesmo autor, em 2022, usou as cascas de maracujá para dar origem ao trabalho “Detecção ultrassensível de células de câncer de mama com um sensor eletroquímico baseado em lectina usando pontos quânticos de grafeno dopados com N como sonda de detecção” no qual sintetizou partículas de 3 a 12 nm a partir

do método de micro-ondas a 170 °C por 20 minutos, assim como no trabalho citado anteriormente.²²

Com isso, é notório que a casca do maracujá é promissora para esse fim, dando origem a um produto com uma vasta possibilidade de aplicações, conforme a tabela 1.

Tabela 1: Trabalhos reportados na literatura de *carbon dots* a partir do maracujá.

Percursor	Método	Aplicação	Referência
Cascas de maracujá	Micro-ondas	Detecção de tetraciclina	Xue Sun et al., 2021
Cascas de maracujá	Micro-ondas	Detecção ultrasensível de células de câncer de mama	Tran et al., 2020
Suco de maracujá	Micro-ondas	Detecção de antibiótico	Tran et al., 2020
Cascas de maracujá	Hidrotermal	Detecção da glutatona ou L-Cisteína	Liu et al., 2020

FONTE: Autora, 2023.

2.5 FILMES FLUORESCENTES À BASE DE CARBON DOTS

Para ampliar a gama de aplicações dos C-Dots, os compósitos C-Dots/polímeros foram desenvolvidos através da integração entre os polímeros e as nanopartículas (ZULFAJRI, 2021). O tamanho pequeno acompanhado do

grande número de grupos funcionais de superfície dos C-Dots permite uma forte interação e uma dispersão homogênea dentro dos polímeros. Os compósitos gerados apresentam grandes vantagens, como alta absorvidade óptica, alta solubilidade aquosa, boa funcionalização, resistência ao fotobranqueamento, grande estabilidade química, menor toxicidade e alta biocompatibilidade. Por isso é possível destiná-lo a várias aplicações nas industriais, comércio e medicina (SANTOS, 2019).

Os filmes fluorescentes têm ganhado grande destaque devido sua possibilidade de aplicações biomédicas e farmacêuticas como na entrega controlada de fármacos se usado como curativo, suportes para regeneração de tecidos cutâneos, lentes de contato, cateteres e membranas de diálise. Além disso, Segundo Konwar, 2015, os compósitos C-Dots/ polímero também melhoraram a flexibilidade, resistência, durabilidade e hidrofobicidade. Além disso, segundo o trabalho de Du, X., et. Al, o revestimento de C-Dots pode oferecer polímeros com algumas habilidades desejadas, como autocura, desempenho mecânico aprimorado, memória de forma, anticorrosão, resposta a estímulos e características eletroquímica.

Os compósitos C-Dots / polímero têm aplicações potenciais em vários campos, como antifalsificação (Jiang, K et al 2016), escudos UV (Feng, X et al 2017), catalisador (Chen, BB et al 2020) e sensores (Shauloff, N. et al 2019), e como filmes ópticos de estado sólido (Hao, Y et al 2014). O trabalho de Cabana.; Wen, et al 2019 mostra a síntese de filmes luminescentes a partir dos C-Dots e Álcool polivinílico (PVA) utilizados em diodos emissores de luz. Já Putro, PA et al 2021 sintetizou C-Dots a partir das cascas de mandioca e formou um filme através de sua interação com PVA.

Atualmente, filmes fluorescentes têm sido sintetizados a base de álcool polivinílico (PVA), que tem recebido grande atenção devido às suas excelentes propriedades, como biodegradabilidade, biocompatibilidade, não toxicidade e baixo custo (ZULFAJRI, 2021). O PVA é um polímero sintético obtido a partir da polimerização, por adição dos monômeros de acetato de vinila seguido de reação de hidrólise. É um polímero barato, com boa estabilidade química, solubilidade em água, capacidade de formação de filmes (SANTOS, 2019).

O Carboximetilcelulose (CMC) é um polímero sintético derivado da celulose pela modificação química da mesma (BOSCH, 2016). É solúvel em água e bastante utilizado empregada como agente incrementador da viscosidade (VILLANOVA, 2010). É amplamente aplicado na indústria farmacêutica como agentes gelificantes e aglutinantes, na exploração de petróleo, nas indústrias de papel, de alimentos, têxteis, farmacêuticas e em tintas e adesivos (BOSCH, 2016). A tabela 2 mostra trabalhos que utilizaram C-Dots para produção de filmes fluorescentes a base de PVA ou CMC.

A estratégia de se misturar dois ou mais polímeros tem sido muito utilizada no desenvolvimento de filmes. A intenção é obter um produto aprimorado, juntando as novas propriedades estruturais e mecânicas de ambos os polímeros precursores (BOSCH, 2016).

Em nosso grupo de pesquisa tem sido sintetizados C-Dots derivados de diferentes biomassas como banana, limão e maracujá, e aplicados à produção de filmes fluorescentes. A exemplo do trabalho de Silva et al., 2023 que utilizou o bagaço do limão para síntese de carbon dots como antioxidante e emissor de luz em filmes fluorescentes aplicados à nanotermometria.

Tabela 2: Trabalhos reportados na literatura de filmes a partir de carbon dots.

Percursor do C-Dots	Percursor do polímero	Aplicação	Referência
Acerola	Álcool polivinílico	Sensores fluorescentes	Carvalho et al., 2019
Cascas de mandioca	Álcool polivinílico	-	Putro et al., 2021
Ureia	Álcool polivinílico	Melhora na luminescência de filmes	Zao et al., 2020
Cascas de Cascas de manga	Álcool polivinílico	Deteção de mesotrina	Sun et al., 2019
Cambuci	Carboximetilcelulose	Sensores de íons metálicos	Junior, 2021
Polietilenoglicol	Carboximetilcelulose	Embalagens	Tamina et al., 2023
Quitosana	Carboximetilcelulose	-	Rihari et al., 2022

FONTE: Autora, 2023.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Sintetizar *carbon dots* verdes derivados das cascas de maracujá pelo método de micro-ondas e aplicá-los como filmes fluorescentes.

3.2 Objetivos específicos

- Sintetizar *carbon dots* derivados das cascas de maracujá a partir do método de micro-ondas;
- Avaliar os principais grupos químicos dos *carbon dots* por meio da técnica de espectroscopia de Infravermelho com transformada de Fourier (FTIR);
- Investigar as propriedades fotofísicas por meio de medidas no espectro UV-Vis e espectroscopia de luminescência;
- Estudar o impacto da variação de potência e tempo nos perfis dos grupos químicos, absorção e emissão dos *carbon dots* do maracujá;
- Aplicar os *Carbon dots* em matrizes poliméricas à base de PVA e CMC para confecção de filmes fluorescentes

4 EXPERIMENTAL

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Materiais Luminescentes e Estudos Ambientais (LumiAm) do Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e na central analítica (UFAL).

4.1 Reagentes e Solvente

Os reagentes utilizados durante estão descritos na tabela 3.

Tabela 3: Pureza e origem dos reagentes e solvente utilizados.

Reagentes e Solvente	Pureza ($\geq$ %)	Origem
Acetona	P.A.	Dinâmica
Carboximetilcelulose de Sódio	P.A.	ACS
Glicerina	P.A.	Êxodo científica
Poly(vinyl alcohol)	99%	Sigma Aldrich

Fonte: Autora, 2023.

4.2 Sínteses de *Carbon dots* derivados da cascas de maracujá pelo método de micro-ondas

Como já citado, neste trabalho utilizou-se de um micro-ondas doméstico para síntese dos *carbon dots*. Fez-se a variação de tempo e potência do aparelho para estudar o possível impacto no rendimento e propriedades óticas da

nanopartícula. Após as sínteses, utilizou-se as técnicas de espectroscopia no ultravioleta visível UV/VIS, de fluorescência e de infravermelho por transformada de fourier (FTIR) para caracterização das amostras, figura 6.

3.2.1. Preparo das cascas do maracujá

Para sintetizar os *carbon dots* utilizou-se cascas secas de maracujá, para isso foi pesado 300 gramas de cascas de maracujá, essas foram cortadas em pedaços pequenos e levadas à estufa a 180° por 24 horas, resultando em uma massa de 94 gramas de biomassa a ser utilizada.

3.2.2. Síntese dos Carbon dots

Inicialmente pesou-se, em 6 béqueres de 250 mL previamente identificados, aproximadamente 1 grama de cascas desidratadas (como descrito no item 3.2.1) e acrescentou a cada um 10 mL de água deionizada. Após isso os béqueres foram levados individualmente ao micro-ondas, a potência e tempo do mesmo foram ajustados segundo o esquema descrito na Tabela 1, em todas as vezes o micro-ondas foi aberto a cada 10 segundos para circulação de ar e evitar superaquecimento.

Figura 6: Esquema representativo do procedimento de síntese realizado.



FONTE: Autora, 2023.

Para identificação das amostras nos diferentes béqueres usou-se a seguinte denominação: CD-T-P, na qual CD significa C-Dots, T o tempo em segundos em que durou a síntese e P a potência em watts aplicada durante a síntese, o que está exemplificado na tabela 4.

Tabela 4: Esquema da metodologia aplicada para a síntese dos *carbon dots*.

AMOSTRA	MASSA (gramas)	VOLUME (mL)	POTÊNCIA (watts)	TEMPO (segundos)
CD60-P6	1,0690	10	540	60
CD60-P8	1,0235	10	720	60
CD60-P10	1,0230	10	900	60
CD90-P6	1,0695	10	540	90
CD90-P8	1,0339	10	720	90
CD90-P10	1,0683	10	900	90

FONTE: AUTORA, 2023.

Após a síntese em micro-ondas as amostras passaram por filtração simples com papel filtro e seguiram para centrifugação a 12.000 rpm por 10 minutos. Após isso foram filtradas em filtro milipore 0,20 μm e seguiram para as caracterizações.

4.3 Filmes fluorescentes

Os C-Dots foram utilizados para obtenção de filmes fluorescentes. Foram sintetizados três filmes variando o volume de C-Dots adicionado, no primeiro

utilizou-se 100 µl e por isso denominou-se o filme de CD90P10-100, no segundo 250 µl o qual foi denominado CD90P10-250 e no terceiro 500 µl sendo denominado CD90P10-500.

Inicialmente pesou-se 100mg de PVA e em seguida adicionou 5mL de água deionizada, então a mistura seguiu para aquecimento com agitação por 5 minutos a temperatura de 100 °C. Após isso foi acrescentado 50 mg de CMC e seguiu para agitação até total dissolução, feito isso foi acrescentado o C-Dots e 60 µl de glicerina P.A., após homogeneização, transferiu-se para placa de vidro na qual foi levado para estufa a 50 °C por 12 horas.

4.4 Rendimento da síntese

O rendimento da síntese dos Cdots foi determinado de forma simples. Pesou-se um pequeno frasco anotando sua massa, adicionou 1mL da solução proveniente da síntese dos *carbon dots* e secou em chapa de aquecimento, após total secagem pesou-se novamente o frasco a fim de se obter a massa de carbon dots presente em 1 mL de solução. O rendimento da síntese foi calculado segundo a fórmula a seguir e os resultados foram expostos na tabela 5.

$$R = T - F * 1000 \text{ (mg/ml)}$$

Onde:

R= Rendimento (mg/mL)

T= Peso do frasco + amostra (g)

F= Peso do frasco (g)

4.5 Caracterizações

Os espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) foram obtidos em equipamento da Shimadzu, modelo IR PRESTIGE – 21 com reflexão

total atenuada (ATR) da Pike com cristal de ZnSe, disponível na Central Analítica da UFAL.

As análises de fluorescência foram realizadas no espectrofluorímetro modelo RF5301 PC, Shimadzu (Tóquio, Japão), disponível na Central Analítica da UFAL. Foi utilizada uma cubeta de quartzo de 1,0 cm (caminho óptico) com janela de excitação (slit) e emissão ajustados entre 1,5 e 10 nm.

As análises de espectrometria de absorção (UV-Vis) foram realizadas em Espectrofotômetro UV-vis-NIR da Shimadzu, modelo UV-3600, disponível na Central Analítica da UFAL.

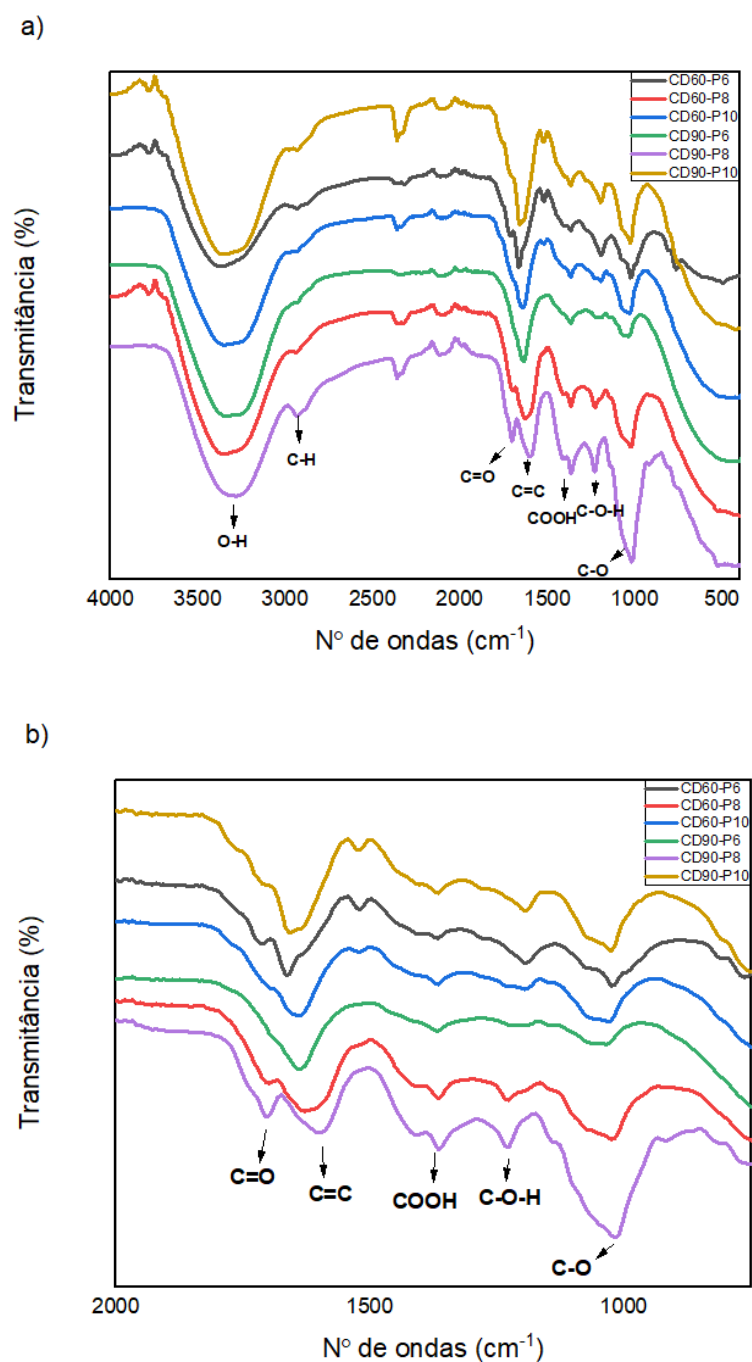
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

O trabalho de RIZWANA, 2019 revela através de estudos de infravermelho com transformada de Fourier importantes grupos funcionais, são eles: fenóis, ésteres, flavonoides, compostos aromáticos e álcoois. Para descrever os grupos funcionais presentes na superfície dos C-Dots aqui sintetizados, utilizou-se também o FTIR, os gráficos resultantes deste método de caracterização apresentaram perfis similares (Figura 7 a-b).

As amostras exibiram bandas largas e intensas em 3350 cm^{-1} que podem ser atribuídas às vibrações de estiramento das ligações de álcoois e fenóis e 3650 cm^{-1} que podem ser atribuídas às vibrações de estiramento de compostos aromáticos (PAVIA et al., 2010, apud ALMEIDA, 2016). Em 3000 cm^{-1} observa-se o estiramento C-H e em 3250 cm^{-1} o estiramento O-H (PAVIA et al., 2010, apud ALMEIDA, 2016). Em 1720 cm^{-1} observa-se o estiramento C=O e em 1600 cm^{-1} o estiramento C=C, confirmando a presença de ácido carboxílico nos C-dots sintetizados, o que indica a presença de grupos funcionais oxigenados na superfície dos C-Dots (HOAN et al., 2019). Bandas de estiramentos C-H aparecem em 2940 cm^{-1} . Acredita-se que os picos em 1360 cm^{-1} estejam relacionados com a vibração do grupo COOH (MOREIRA, V. 2017.; HOAN et al., 2019). Estiramentos vibracionais das ligações C-O aparecem em 1000 cm^{-1} , os quais podem ser atribuídos às estruturas dos álcoois e ésteres já esperados no extrato. O pico mais largo e localizado em 1220 cm^{-1} representa o grupo C-O-H (PAVIA et al., 2010, apud ALMEIDA, 2016). A alta solubilidade em água dos C-Dots é resultado desses diferentes grupos funcionais na superfície (LIU et al., 2019). A figura 7 representa os espectros de FTIR para os C-Dots sintetizados.

Figura 7: a) Espectros de FTIR para dos C-Dots; b) Espectros de FTIR para os C-Dots com região ampliada de 2000 nm a 750 nm para melhor visualização das bandas.

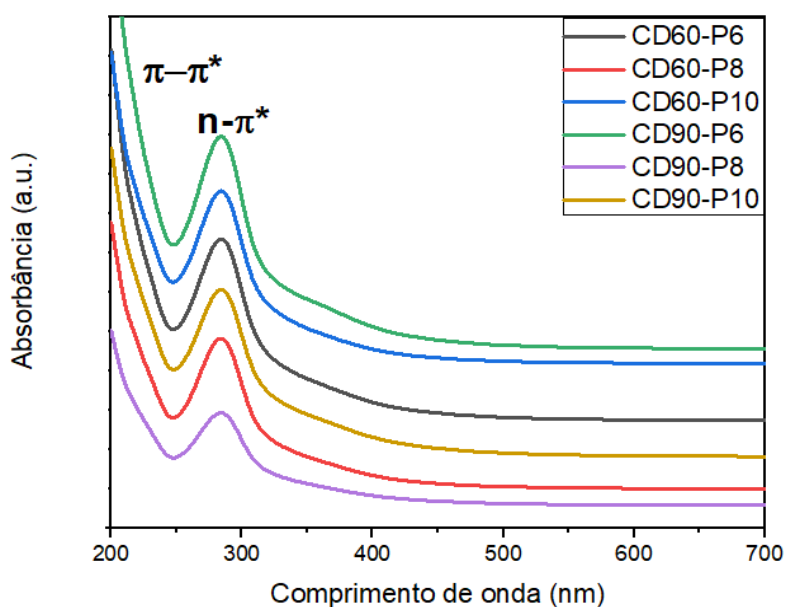


FONTE: Autora, 2023.

5.2 Espectrometria de absorção (UV-Vis)

A espectrofotometria UV-Vis foi utilizada com intuito de caracterizar os C-Dots obtidos (Figuras 8), os gráficos resultantes revelaram duas bandas de absorção características. A primeira banda de absorção, localizada na faixa de 190–250 nm, é atribuída à transição eletrônica $\pi - \pi^*$ das ligações C = C (domínios sp^2 do núcleo). A segunda faixa de absorção (250–450 nm), corresponde à transição eletrônica $n - \pi^*$ das ligações de superfície, a exemplo da C=O conforme é reportado por HOAN (2019). Todos os CDots sintetizados apresentaram o mesmo perfil das bandas de absorção.

Figura 8: Espectros de UV-Vis dos C-Dots.



FONTE: Autora, 2023.

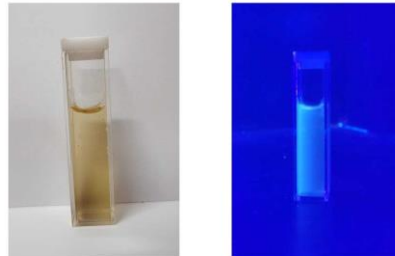
A figura 9 apresenta uma amostra dos C-Dots em luz ambiente e em luz UV ..

Figura 9: C-Dots em luz ambiente e sob irradiação UV.

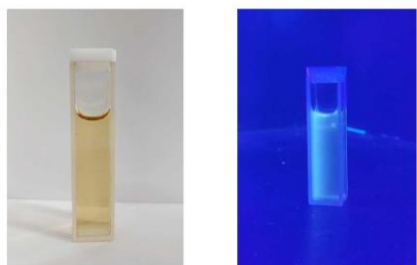
CD60-P6



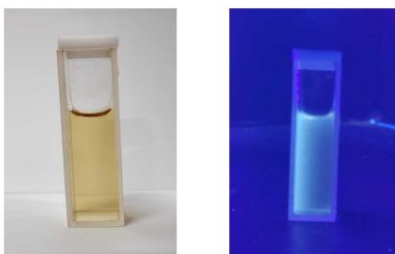
CD60-P8



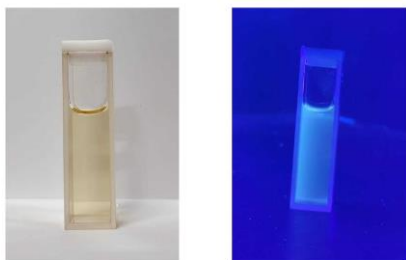
CD60-P10



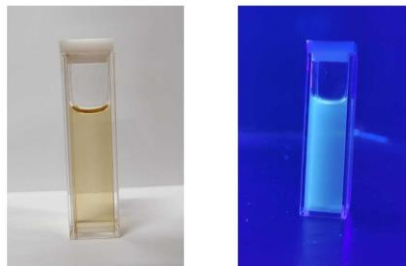
CD90-P6



CD90-P8



CD90-P10



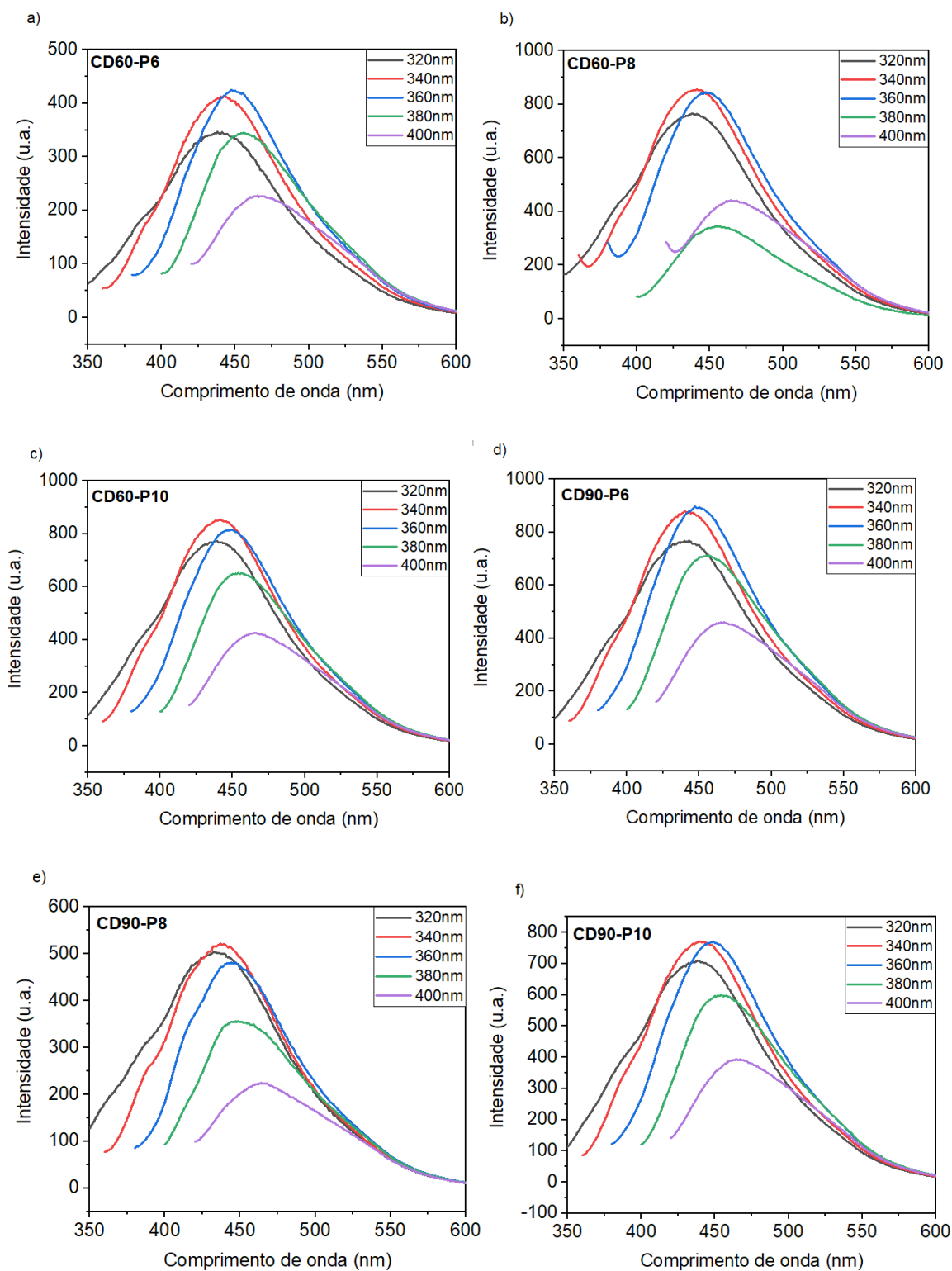
Fonte: Autora, 2023.

5.3 Espectroscopia de fotoluminescência

A espectroscopia de fotoluminescência foi usada para obter as características fotofísicas como a emissão de luz dos C-Dots sintetizados. Os dados de fotoluminescência foram estudados na faixa de comprimentos de onda de 320 a 600 nm. Os espectros de emissão de fluorescência das nanopartículas foram registrados em diferentes comprimentos de onda de excitação, os quais variaram na faixa de 300 – 400 nm (Figura 10 a-f). A emissão dos C-Dots apresentou um desvio para o vermelho à medida que o comprimento de onda de excitação aumentava nessa mesma faixa. A máxima intensidade de fluorescência dos CDots foi obtida em 450 nm quando a excitação foi em 360 nm para as amostras CD60-P6 e CD90-P6, ou seja as duas amostras sintetizadas em potência de 540W, e 340 nm para as demais amostras.

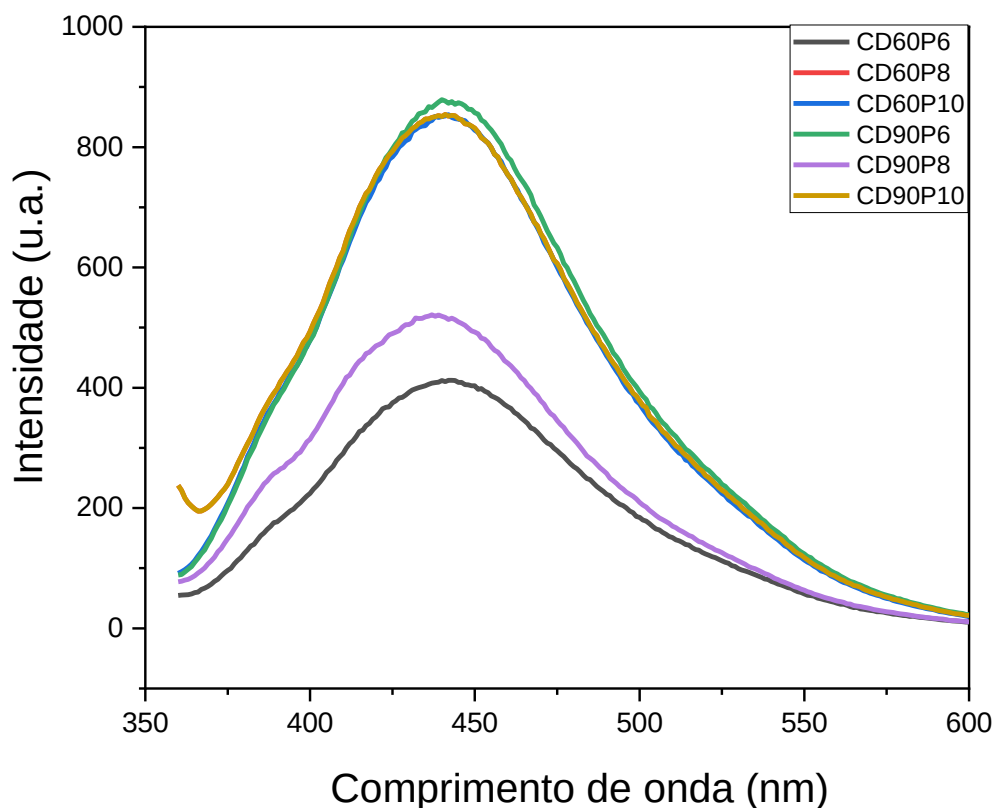
A figura 11 mostra as emissões de todas as amostras no comprimento de onda de excitação em 340nm com emissão máxima em 450 nm a fim de estudar alguma possível diferença de emissões entre os C-Dots causada pela variação na metodologia de síntese. Então a partir desta é possível observar que embora algumas linhas estejam sobrepostas, há diferença de emissão, sendo CD60P8, CD90P6 e CD90P10 as amostras com maior emissão nessa faixa. Foi possível observar que a síntese influenciou na intensidade das emissões das amostras.

Figura 10: Espectros de emissão dos C-Dots: a) CD60-P6, b) CD60-P8, c) CD60-P10, d) CD90-P6, e) CD90-P8 e f) CD90-P10.



FONTE: Autora, 2023.

Figura 11: Diferença de emissão dos C-Dots sintetizados em um único comprimento de onda (340nm).



FONTE: Autora, 2023.

O trabalho de Farsi et al., visa entender o que impacta nas propriedades luminescentes dos C-dots a fim de poder controlá-la, segundo ele

As propriedades ópticas dos CDOTs são fortemente influenciadas pelos grupos funcionais (-OH, -CHO, -COOH, -CO, -COO) formados na superfície dos pontos. Os principais fatores que afetam a natureza e o número de grupos funcionais são o método de preparação, o tratamento pós-síntese e os materiais precursores.

Diante disso, foi estudada também a variação da intensidade da potência do micro-ondas e observado que o aumento da potência afeta em maior densidade de grupos funcionais nas superfícies dos C-dots e maior emissão.

Esses dados podem ser comparados também com o trabalho de Sutanto et al., 2020 que estudou o efeito da variação da potência do micro-ondas durante a síntese dos C-dots, o mesmo também observou que o aumento da potência influencia no aumento da emissão dos mesmos. Segundo Sutanto et al., 2020 as amostras possuem propriedades bastante similares, mas a amostra sintetizada com maior potência possui as melhores propriedades ópticas com base nos resultados de grupo funcional, absorbância e intensidade de emissão luminosa. No presente trabalho o mesmo resultado foi observado, as amostras também apresentam características similares com relação a emissão, mas as CD90P10 conseguiu se destacar um pouco mais em rendimento (segundo a tabela 5) e luminescência.

Tabela 5: Resultados do rendimento de síntese dos Cdots.

Amostra	Rendimento (mg/mL)
CD60-P6	14
CD60-P8	16
CD60-P10	19
CD90-P6	16
CD90-P8	16
CD90-P10	20

FONTE: Autora, 2023

5.4 Aplicação dos *Carbon dots* na confecção de filmes fluorescentes

Em todas as concentrações os filmes apresentaram boa transparência, uma intensa luminescência e alta flexibilidade como observado na figura 10, o que lhes possibilitam diversas aplicações futuras.

Figura 12: Filmes formados a partir dos C-Dots e suas propriedades.

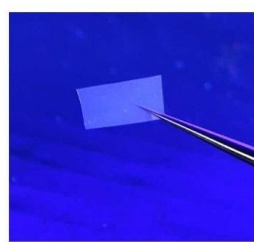
CD90P10-100



TAMANHO



TRANSPARÊNCIA



LUMINESCÊNCIA



FLEXIBILIDADE

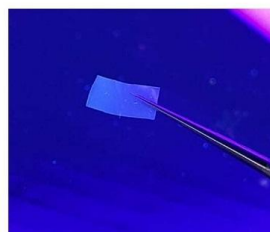
CD90P10-250



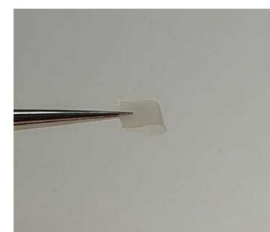
TAMANHO



TRANSPARÊNCIA

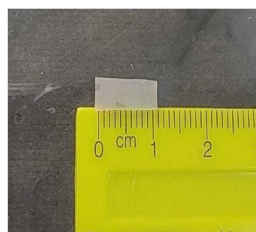


LUMINESCÊNCIA



FLEXIBILIDADE

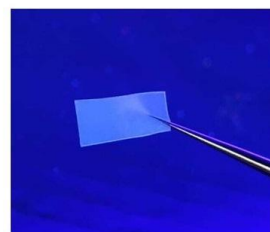
CD90P10-500



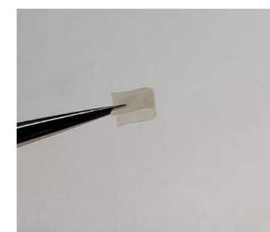
TAMANHO



TRANSPARÊNCIA



LUMINESCÊNCIA



FLEXIBILIDADE

FONTE: Autora, 2023.

6 CONCLUSÃO

O uso das cascas de maracujá como precursor é interessante devido sua grande disponibilidade, o que implica em um acesso fácil e barato. O método de síntese via micro-ondas conseguiu reaproveitar o lixo orgânico para síntese de material com alto valor agregado e se mostrou altamente eficiente e reprodutível, rápido e econômico. Foram produzidos *carbon dots* com luminescência no azul. Através das caracterizações observou absorções características de transições $\pi - \pi^*$ (230 nm) das ligações C=C e $n - \pi^*$ (286 nm) das ligações de superfície C=O, e estiramentos vibracionais característicos de ésteres, ácidos carboxílicos e álcoois como esperado uma vez que esses grupos estão presentes na fruta.

A amostra CD90P10 se destacou em relação as demais em rendimento e fluorescência, indicativo positivo no uso de maior potência e tempo. O filme foi sintetizado a partir da amostra de maior rendimento, o mesmo apresentou alta luminescência, grande flexibilidade e boa transparência podendo ser destinado a diversas aplicações.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Diante do exposto, esse trabalho tem como perspectivas futuras a realização de:

- Realizar medidas de microscopia eletrônica de transmissão (MET);
- Utilizar os filmes como sensores fluorescentes (pH e temperatura).

8 REFERÊNCIAS

BOSCH, H. **FILMES DE POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) E CARBOXIMETILCELULOSE PARA APLICAÇÃO COMO CURATIVOS**. 2016, 91 f. Dissertação - Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2016.

CAETANO, M. **Preparação de pontos de carbono via irradiação em micro-ondas doméstico: Estudos das propriedades estruturais e fotofísicas**. Universidade Federal de Uberlândia. Minas Gerais, 2022.

CAETANO, M. **Preparação de pontos de carbono via irradiação em micro-ondas doméstico: estudos das propriedades estruturais e fotofísicas**. 2022. 100 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2022; doi: 10.14393/ufu.di.2022.604.

CARVALHO, J.; Santos, L.R.; Germino, J.C.; Terezo, A.J.; Moreto, J.A.; Quites, F.J.; Freitas, R.G. Hydrothermal Synthesis to Water-stable Luminescent Carbon Dots from Acerola Fruit for Photoluminescent Composites Preparation and its Application as Sensors. *Mater*. 2019, 22; doi: 10.1590/1980-5373-MR-2018-0920.

CHEN, B.B.; Liu, M.L.; Huang, C.Z. Carbon dot-based composites for catalytic applications. *Green Chem*. 2020, 22; doi:10.1039/D0GC01014F.

CUI, I. Ren, X. Sun, M. Liu, H. Xia, I. Carbon Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Nanomaterials* 2021, 11(12), doi: 10.3390/nano11123419.

CUI, L. Ren, X. Sun, M. Liu, H. Xia, L. Carbon Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Nanomaterials*, (2021). doi:10.3390/ nano11123419.

DAVI, L. **SÍNTESE DE MOLÉCULAS DANSILADAS E SEUS RESPECTIVOS CARBON DOTS PARA MÚLTIPLAS APLICAÇÕES**. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

DIAS, J. **Síntese e Caracterização de Nanopartículas de Carbono**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

FARSI, B. Sofin, R. Shidhani, Shafey, E. Al-hosni, A. Marzouqi, F. The effect of microwave power level and post-synthesis annealing treatment on oxygen-based functional groups present on carbon quantum dots. *Journal of Luminescence*. 2022. Doi: 10.1016/j.jlumin.2022.119326.

FENG, X.; Zhao, Y.; Jiang, Y.; Miao, M.; Cao, S.; Fang, J. Use of carbon dots to enhance UV-blocking of transparent nanocellulose films. *Carbohydr. Polym*. 2017, doi: doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.030.

FERNANDES, J. **Composições poliméricas a base de carboximetilcelulose (CMC) e amido como veículos de inoculação de rizóbio em leguminosas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia, Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica - RJ, 2006.

GOLDEMBERG, J. Biomass and Energy. **Química Nova**. 32 (3), 2009. doi: 10.1590/S0100-40422009000300004.

HOAN, B. Tam, P. Pham, V. Green Synthesis of Highly Luminescent Carbon Quantum Dots from Lemon Juice. **Journal of Nanotechnology**. 2019; doi: 10.1155/2019/2852816.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. IBGE, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de Maracujá**. IBGE, 2022.

JIANG, K.; Zhang, L.; Lu, J.; Xu, C.; Cai, C.; Lin, H. Triple-Mode Emission of Carbon Dots: Applications for Advanced Anti-Counterfeiting. **Angew. Chem. Int. Ed.** 2016, doi: doi.org/10.1002/anie.201602445.

JUNIOR, A. **SÍNTESE DE MATERIAIS BASEADOS EM CARBON DOTS A PARTIR DO FRUTO CAMBUCI E SUA APLICAÇÃO COMO SENSORES DE ÍONS METÁLICOS**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2021.

JUNIOR, N. **Propriedades fotoluminescentes de pontos quânticos de carbono sintetizados a partir da pirólise do ácido cítrico**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2020.

KALYTCHUK, S. et al. Carbon Dots Detect Water-to-Ice Phase Transition and Act as Alcohol Sensors via Fluorescence Turn-Off/On Mechanism. **ACS Nano**, v. 15, n. 4, p. 6582– 6593, 2021.

KAZEMIFARD, N.; Ensafi, A.A.; Rezaei, B. Green synthesized carbon dots embedded in silica molecularly imprinted polymers, characterization and application as a rapid and selective fluorimetric sensor for determination of thiabendazole in juices. **Food Chem.** 2020; doi: doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125812.

KUMAR, S. AHLAWAT, W. DILBAGHI, N. Graphene, carbon, nanotubes, zinc oxide and gold as elite nanomaterials for fabrication of biosensors for healthcare. ScienceDirect. doi: 10.1016/j.bios.2015.03.062.

KUNST, T. Síntese, **Caracterização e Aplicação de Carbon Quantum Dots de papel**. 2018, 76 f. Dissertação - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2018.

LI, C. Liu, Y. Lu, B. Sana, U. Ren, X. Sun, Y. Toward High-Performance and Functionalized Carbon Dots: Strategies, Features, and Prospects. **Progress in Chemistry**, (2022). Doi: 10.7536/PC210303.

LI, S. et al. Targeted tumour theranostics in mice via carbon quantum dots structurally mimicking large amino acids. **Nature Biomedical Engineering**, v. 4, n. 7, p. 704–716, 2020.

LIU, M. L., Chen, B. B., Li, C. M., & Huang, C. Z. Carbon dots: synthesis, formation mechanism, fluorescence origin and sensing applications. **Green Chemistry**, (2019). doi:10.1039/c8gc02736f.

LIU, S. Tian, J. Wang, L. Zhang, Y. Qin, X. Luo, Y. Sun, X. Hydrothermal Treatment of Grass: A Low-Cost, Green Route to Nitrogen-Doped, Carbon-Rich, Photoluminescent Polymer Nanodots as an Effective Fluorescent Sensing Platform for Label-Free Detection of Cu(II) Ions. **Advanced Materials**, 24(15), (2012), 2037–2041. doi:10.1002/adma.201200164.

MEDEIROS, T. MANIOUDAKIS, J. NOUN, F. MACAIRAN, J. VICTORIA, F. Microwave-assisted synthesis of carbon dots and their applications. **Journal of materials chemistry C** 24, (2019).

MOREIRA, D. **Nanocompósitos de Carbon-Dot e Lantanídeos**. Universidade de Brasília. Brasília, 2015.

MOREIRA, V. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CARBON DOTS FUNCIONALIZADOS COM CUPRIZONA E SUA APLICAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE CU (II) EM ÁGUAS PELA ATENUAÇÃO DA INTENSIDADE FLUORESCENTE**. Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais, 2017.

MOREIRA, V. **SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CARBON DOTS FUNCIONALIZADOS COM CUPRIZONA E SUA APLICAÇÃO NA DETERMINAÇÃO DE CU (II) EM ÁGUAS PELA ATENUAÇÃO DA INTENSIDADE FLUORESCENTE**. 2017, 70 f. Dissertação - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

OLIVEIRA, J. **Caracterização Química, Bioquímica e Valor Calórico de Resíduos Desidratados da Indústria Frutícola de Maracujá (Passiflora Edulis f. Flavicarpa) e Manga (Mangifera indica L.)**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Bahia, 2013.

PUTRO, P.A.; Yudasari, N.; Isnaeni; Maddu, A. Spectroscopy study of Polyvinyl alcohol/carbon dots composite films. *Walailak J. Sci. Technol.* 2021; doi: 10.48048/wjst.2021.9184.

RIABI, Z. Rhim, J. Bagheri, R. Pircheraghi, G. Carboxymethyl cellulose-based functional film integrated with chitosan-based carbon quantum dots for active food packaging applications. **Progress in Organic Coatings**. 2022; DOI:10.1016/j.porgcoat.2022.106794.

RIGOSA, F.; BURIAN, M.; ARCUDI, F.; DORDEVIC, L.; PRATO, M. SNAPSHOTS INTO CARBON DOTS FORMATION THROUGH A COMBINED SPECTROSCOPIC APPROACH. *Nature communications* 12, (2021). doi: 10.1038/s44167-021-22920.

SAFAEI, B.; Youssefi, M.; Rezaei, B.; Irannejad, N. Synthesis and Properties of Photoluminescent Carbon Quantum Dot/Polyacrylonitrile Composite Nanofibers. **Smart Sci.** 2018, 6, 117–124. doi: doi.org/10.1080/23080477.2017.1399318.

SANTOS, A. **DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE QUITOSANA/PVA/NORBIXINA COM POTENCIAL APLICAÇÃO EM REGENERAÇÃO DE TECIDOS**. 2019, 86 f. Dissertação - Instituto Federal de Piauí. Teresina, 2019.

SHARMA, A. Das, J. Small molecules derived carbon dots: synthesis and applications in sensing, catalysis, imaging, and biomedicine. **Journal of Nanobiotechnology**, 17(1), (2019). doi:10.1186/s12951-019-0525-8.

SHAULOFF, N.; Bhattacharya, S.; Jelinek, R. Elastic carbon dot/polymer films for fluorescent tensile sensing and mechano-optical tuning. **Carbon**. 2019, 152; doi: 10.1016/j.carbon.2019.06.046.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6.ed. Bookman, São Paulo, 2006.

SOUZA, C. Marcos, A. Rodrigues, G. Mercado Brasileiro de Maracujá. **Domani**, 2022. Disponível em: <<https://www.domaniconsultoria.com/post/mercado-brasileiro-de-maracuj%C3%A1#:~:text=Em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20exporta%C3%A7%C3%A3o%20do,acordo%20com%20o%20Comex%20Stat>> Acesso em: 11/04/2023.

SUN, X. Jiang, M. Niu, N. Chen, L. Construction of ratiometric fluorescence MIPs probe for selective detection of tetracycline based on passion fruit peel carbon dots and europium. **Microquímica Acta**, 188, (2021). doi: org/10.1007/s00604-021-04929-4.

SUN, X., Liu, Y., Niu, N. S. Synthesis of molecularly imprinted fluorescent probe based on biomass-derived carbon quantum dots for detection of mesotrione. **Anal Bioanal Chem**. 411, (2019). doi: 10.1007/s00216-019-01930-y.

SUN, Z., & Qu, D. The formation mechanism and fluorophores of carbon dots from the bottom-up route. **Materials Chemistry Frontiers**, (2020). doi:10.1039/c9qm00552h.

SUTANTO, H. Alkian, I. Romanda, N. High green-emission carbon dots and its optical properties: Microwave power effect. **Nanoscience and Nanotechnology**. 10, 2020. doi.org/10.1063/5.0004595.

TAMMINA, S. Rhim, J. Carboxymethylcellulose/agar-based functional film incorporated with nitrogen-doped polyethylene glycol-derived carbon dots for active packaging applications. **Chemosphere**, 2023. doi: doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137627.

TIGRE, C. Maracujá no Brasil. **CDT**, 2022. Disponível em: <https://www.cdtpergunta.com/202210/maracuja20%.html>. Acesso em: 02/10/2023.

TRAN, H. Dang, V. Dega, N. Lu, S. Doonh, R. Ultrasensitive detection of breast cancer cells with a lectin-based electrochemical sensor using N-doped graphene quantum dots as the sensing probe. **Sensors and Actuators B: Chemical**. Volume 368, 1 October 2022; doi: /10.1016/j.snb.2022.132233.

TRAN, H. Darmanto, W. Doong, R. Ultrasensitive Detection of Tetracycline Using Boron and Nitrogen Co-Doped Graphene Quantum Dots from Natural Carbon Source as the Paper-Based Nanosensing Probe in Difference Matrices. **NANOMATERIALS**, 1883, (2020). 10(9), doi: 10.3390/nano10091883.

VAZ, R. PREPARAÇÃO DE PONTOS DE CARBONO E SUA CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA: UM EXPERIMENTO PARA INTRODUIR NANOCIÊNCIA NA GRADUAÇÃO. **Quim. Nova** 10, 1366-1373, (2015). doi: 10.5935/0100-4042.20150150 .

VÁZQUEZ, M. **Magnetic Nano-and Microwires. Woodhead & Elsevier**, v. 1, 2015.

VILLANOVA, J. C. O.; Oréfice, R. L.; Cunha, A. S. **Aplicações farmacêuticas de polímeros Pharmaceutical applications of polymers. Polímeros**, v. 20, n. 1, p. 51, 2010.

WU, Z. L., LIU, Z. X., & YUAN, Y. H. Carbon dots: materials, synthesis, properties and approaches to long-wavelength and multicolor emission. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 5, nº 21, p. 3794–3809, 2017.

XU X, Ray R, Gu Y, Ploehn HJ, Gearheart L, Raker K, Scrivens WA. Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments. **J Am Chem Soc.**, 126(40), (2004), 12736–12737. doi:10.1021/ja040082h.

YANG, H., Zhou, B., Zhang, Y. Valorization of Expired Passion Fruit Shell by Hydrothermal Conversion into Carbon Quantum Dot: Physical and Optical Properties. **Waste Biomass Valor** 12, (2021). doi: 10.1007/s12649-020-01132-z.

Yang, L., Li, R. S., Chen, B. B., Liu, H., & Huang, C. Z. Large-scale simultaneous synthesis of highly photoluminescent green amorphous carbon nanodots and yellow crystalline graphene quantum dots at room temperature. **Green Chemistry**, 19(15), (2017), 3611– 3617. doi:10.1039/c7gc01236e.

YUAN, F. et al. Bright high-colour-purity deep-blue carbon dot light-emitting diodes via efficient edge amination. **Nature Photonics**, v. 14, n. 3, p. 171–176, 2020.

ZHANG, X.; Cheng, X.; Chen, F.; Xu, L.; Wang, Y.; Qian, J.; Wu, Z.; Zhang, Q. Facile loading carbon dots on Co3O4 as an enhanced oxygen reduction reaction catalyst. **Chemical Physics Letters**, v. 740, n. September 2019, 2020; doi:10.1016/j.cplett.2019.137058.

ZHAO, X.; Wang, A.; Gao, S.; Yan, D.; Guo, W.; XU, Y.; Meng, Y.; Wanh, C.; Shan, G. Enhancing photoluminescence of carbon quantum dots doped PVA films with randomly dispersed silica microspheres. **Sci. Rep.** 2020, 10, 5710. doi: 10.1038/s41598-020-62563-1.

ZULFAJRI, M.; Sudewi, S.; Smulyati, S.; Rasool, A.; Adlin, M.; Huang, G. Carbon Dot/Polymer Composites with Various Precursors and Their Sensing Applications: A Review. **Coatings** 11, (2021). doi: 10.3390/coatings11091100.