



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

Fundação Instituída nos termos da Lei nº 5.152, de 21/10/1966 – São Luís – Maranhão

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO DE GRADUAÇÃO - DIDEG

CENTRO DE CIÊNCIAS DE GRAJAÚ

COORDENAÇÃO DO CURSO DE CIÊNCIAS NATURAIS - QUÍMICA

JULIANA NORONHA FONSECA

SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATOS DA ESPÉCIE *Caryocar Brasiliense* E SUA APLICAÇÃO EM FORMULAÇÕES DE BIOMATERIAIS

JULIANA NORONHA FONSECA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATOS
DA ESPÉCIE *Caryocar Brasiliense* E SUA APLICAÇÃO EM FORMULAÇÕES DE
BIOMATERIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Ciências Naturais - Química da Universidade Federal do Maranhão - UFMA, Centro de Ciências de Grajaú, como requisito para obtenção do título de Licenciada em Ciências Naturais com Habilitação em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Antonia de Sousa Leal.

Ficha catalográfica gerada pelo Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmica -
SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pela autora.

Fonseca, Juliana Noronha.

Síntese Verde de nanopartículas de prata utilizando extratos da espécie *Caryocar brasiliense* e sua aplicação em formulações de biomateriais / Juliana Noronha Fonseca.
- 2024.

48 p.

Orientador(a): Antonia de Sousa Leal.

Monografia (Graduação) - Curso de Ciências Naturais -
Química, Universidade Federal do Maranhão, Grajaú - MA,
2024.

1. Biomateriais. 2. Pequizeiro. 3. Síntese verde. 4.
Toxicidade. I. Leal, Antonia de Sousa. II. Título.

JULIANA NORONHA FONSECA

**SÍNTESE VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA UTILIZANDO EXTRATOS
DA ESPÉCIE *Caryocar Brasiliense* E SUA APLICAÇÃO EM FORMULAÇÕES DE
BIOMATERIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura Interdisciplinar em Ciências Naturais - Química como requisito parcial para obtenção do título de Licenciada em Ciências Naturais com habilitação em Química.

Juliana Noronha Fonseca
Discente

Aprovado em: Grajaú – MA, 01 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Antonia de Sousa Leal
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
Presidente da Banca

Profa. Dra. Ionara Nayana Gomes Passos
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
1º Professor Membro

Profa. Ma. Daniely Gaspar de Sousa
Universidade Federal do Maranhão - UFMA
2º Professor Membro

À Deus, Maria Santíssima, minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

“Em tudo, dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus para convosco” (1 Tessalonicenses 5:18).

Agradeço primeiramente a Deus por todas as bênçãos que têm feito em minha vida, mesmo reconhecendo minha indignidade e fragilidade como pecadora, jamais abandonou os meus passos. Quando pensei em desistir e que não seria capaz, foi a minha redenção. Seu zelo, proteção, cuidado e amor, foram o suficiente para me dar força mesmo quando eu mesma perdi a fé em mim. OBRIGADA, DEUS!

Aos meus pais, Antônio e Odaci, que sempre estiveram ao meu lado, me dando apoio e fazendo o máximo para criar e educar tanto a mim quanto aos meus irmãos da melhor maneira. Abdicaram de muito pelo nosso bem, enfrentaram lutas, sofreram e passaram por momentos difíceis, mas sempre nos protegendo das dificuldades. Embora não tenham conseguido realizar todos os seus próprios sonhos, espero ser motivo de orgulho e conseguir concretizar essas aspirações em nome deles, são minhas inspirações enquanto pessoas e o amor que sinto por meus pais é infinito. À toda minha família, meus tios Edilson e Eulina, e em especial para os meus irmãos, Júnior e Jonas, pelo apoio incondicional e sempre estarem presentes em todos os momentos da minha vida. Aos meus sobrinhos Luiz Gustavo e Nicolas Kauê, e ao meu namorado Wesley por todo suporte e compreensão, amo vocês de coração.

Aos amigos, Bruno, Karina, Edilane, Saluanny, Gustavo, Walisson, Jakelline, Gean, Raimundo Leilton, Sabrina, Liane, Natália, Antonio Jonas e Cleane, pelos conselhos e momentos compartilhados. As mulheres da limpeza por todo carinho. Aos técnicos do laboratório Ângelo Afonso Ferreira de Sousa, Fabrícia Vieira Ribeiro e Francisco Estefânio Barreto por contribuírem significativamente para o andamento das atividades laboratoriais. As bibliotecárias Francinete Costa Primo e Jaciara Marques Galvão Silva, por me ajudarem em minha jornada acadêmica.

Aos professores da Universidade, em especial à minha banca Ionara Nayana Gomes Passos e Daniely Gaspar de Sousa, por aceitarem o convite. A Sandra Maria Alves Barros e Ulisses Alves do Rêgo, por guiarem meus passos no Estágio e no Residência Pedagógica.

Professora Antonia de Sousa Leal, um “obrigada” não é capaz de expressar a gratidão que sinto pela senhora. Você desempenhou um papel fundamental na consolidação da minha trajetória científica e acadêmica, sendo uma fonte de inspiração e um modelo a ser seguido. Agradeço imensamente pela excelente orientação, dedicação e paciência. Além de ser uma professora, doutora, mãe, filha e irmã, você é, acima de tudo, um ser humano extraordinário com uma história inspiradora.

*“Mas, se você nunca tentar, nunca saberá
exatamente qual é o seu valor”.*
(Coldplay – Fix You, 2005).

RESUMO

O bioma Cerrado, conhecido por sua vasta diversidade biológica, fauna e flora, ainda é pouco explorado e revela-se como uma fonte promissora de plantas que podem servir como agentes biorredutores durante processos de síntese de nanopartículas de prata (AgNPs). A espécie *Caryocar brasiliense* (pequi) destaca-se no cenário gastronômico e apresenta importantes propriedades farmacológicas. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o perfil fitoquímico e atividades biológicas de extratos obtidos das folhas e flores do pequi e sua aplicação na síntese de nanopartículas de prata e formulação de biomateriais. Foram preparados extratos das flores (E_{et}Fl) e extratos das folhas (E_{et}Fo) por maceração em etanol. Testes de triagem fitoquímica e toxicidade frente à *Artemia salina* dos extratos foram avaliados. Nanopartículas de prata foram sintetizadas a partir de extratos E_{et}Fl e E_{et}Fo e avaliada sua incorporação em filmes de amido extraído da casca da batata. Os resultados revelam a presença de compostos como saponinas espumídicas, alcalóides, açúcares redutores, fenóis e taninos, flavonóides, esteróides e triterpenóides. Na avaliação da toxicidade, o E_{et}Fo apresentou maior toxicidade (CL₅₀ = 154,8 µg.mL⁻¹) em relação ao E_{et}Fl (CL₅₀ = 538,9 µg.mL⁻¹). Foi possível a síntese de nanopartículas a partir do E_{et}Fl e E_{et}Fo, evidenciada pela mudança na coloração das soluções e monitoramento utilizando UV-visível durante o tempo de síntese com aparecimento de banda na região de 200 nm a 500 nm. Os biofilmes de amido de batata com incorporação das nanopartículas apresentaram boas propriedades ao rasgo e melhoria nas propriedades de intumescimento em água por 2 horas, quando comparados aos biofilmes sem adição de AgNPs. O trabalho apresentou resultados que destacam o potencial da espécie como fonte de compostos bioativos e seu papel na biodiversidade do cerrado brasileiro, bem como possibilidades de formulações de biomateriais.

Palavras-chave: pequizeiro; toxicidade; síntese verde; biomateriais.

ABSTRACT

The Cerrado biome, known for its vast biological diversity, fauna and flora, is still little explored and is proving to be a promising source of plants that can serve as bioreductive agents during silver nanoparticles (AgNPs) synthesis processes. The species *Caryocar brasiliense* (pequi) stands out in the gastronomic scene and has important pharmacological properties. Thus, the present study aimed to evaluate the phytochemical profile and biological activities of extracts obtained from pequi leaves and flowers and their application in the synthesis of silver nanoparticles and formulation of biomaterials. Flower extracts (EetFl) and leaf extracts (EetFo) were prepared by maceration in ethanol. Phytochemical screening tests and toxicity against *Artemia salina* of the extracts were evaluated. Silver nanoparticles were synthesized from EetFl and EetFo extracts and their incorporation into starch films extracted from potato peels was evaluated. The results reveal the presence of compounds such as foamy saponins, alkaloids, reducing sugars, phenols and tannins, flavonoids, steroids and triterpenoids. In the toxicity assessment, EetFo showed greater toxicity ($LC_{50} = 154,8 \mu\text{g.mL}^{-1}$) compared to EetFl ($LC_{50} = 538,9 \mu\text{g.mL}^{-1}$). It was possible to synthesize nanoparticles from EetFl and EetFo, evidenced by the change in color of the solutions and monitoring using UV-visible during the synthesis time with the appearance of a band in the region of 200 nm to 500 nm. Potato starch biofilms with incorporation of nanoparticles showed good tearing properties and improved swelling properties in water for 2 hours, when compared to biofilms without addition of AgNPs. The work presented results that highlight the potential of the species as a source of bioactive compounds and its role in the biodiversity of the Brazilian cerrado, as well as possibilities for biomaterial formulations.

Keywords: pequi tree; toxicity; green synthesis; biomaterials.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Árvore do Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>) na cidade de Grajaú – Maranhão.....	15
Figura 2 - Folha e Flor do Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>) coletada na cidade de Grajaú-MA...	16
Figura 3 - Extrato bruto da folha (E _{et} Fo) e flor (E _{et} Fl)do pequi concentrado.....	21
Figura 4 - Náuplios de <i>Artemia Salina</i> após 48 horas de eclosão.....	25
Figura 5 - Triagem fitoquímica para alcalóide.....	30
Figura 6 - Triagem fitoquímica para saponinas.....	30
Figura 7 - Triagem fitoquímica para Açúcares Redutores.....	31
Figura 8 - Triagem fitoquímica para Fenóis e Taninos.....	31
Figura 9 - Triagem fitoquímica para Esteróides e Triterpenóides (E _{et} Fo).....	32
Figura 10 - Teste de Flavonóides (E _{et} Fl).....	32
Figura 11 - Síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) estabilizadas utilizando o extrato das folhas (A) e flores (B) do Pequi.....	36
Figura 12 - Aspectos visuais dos biofilmes de amido da casca de batata/Glicerina /carboximetilcelulose e nanopartículas de prata (extrato das folhas).....	39
Figura 13 - Aspectos visuais dos biofilmes de amido da casca de batata/Glicerina /carboximetilcelulose e nanopartículas de prata (extrato das flores).....	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1. 2 JUSTIFICATIVA	12
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1 Pequiheiro (<i>Caryocar brasiliense Camb.</i>)	14
3.2 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs).....	18
4 METODOLOGIA.....	20
4.1 Material Vegetal	20
4.2 Prospecção Fitoquímica	21
4.2.1 Alcalóides.....	21
4.2.2 Saponinas Espumídicas	22
4.2.3 Açúcares Redutores	22
4.2.4 Polissacarídeos	22
4.2.5 Ácidos Orgânicos.....	22
4.2.6 Fenóis e Taninos	23
4.2.7 Esteróides e Triterpenóides.....	23
4.2.8 Flavonóides	24
4.3 Avaliação da toxicidade frente à <i>Artemia salina</i>	24
4.3.1 Avaliação estatística	25
4.4 Síntese de Nanopartículas de Prata (AgNPs).....	26
4.5 Biofilme	26
4.6 Caracterização dos biofilmes	27
4.6.1 Transparência.....	27
4.6.2 Teste de intumescimento	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Prospecção Fitoquímica	28
5.2 Avaliação da toxicidade frente à <i>Artemia salina</i>	33
5.3 Síntese de Nanopartículas de Prata	36
5.4 Biofilme de amido da casca de batata com nanopartículas de prata.....	38
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país rico em biodiversidade, fauna e flora e é dividido em seis principais biomas, dentre eles o Cerrado. Esse bioma é predominantemente composto por uma rica diversidade de espécies frutíferas, sendo os frutos notavelmente destacados por suas características morfológicas, como cor, estrutura e formação (Queiroz; Rapini; Giulieti, 2006). Dentro da variedade de espécies presentes neste bioma, é pertinente mencionar a espécie popularmente reconhecida como pequi, sendo categorizada tanto como do gênero frutífera, quanto como oleaginosa, tornando-se tal classificação atribuída com base em suas características e utilização (Oliveira *et al.*, 2008).

O pequi, cujo fruto conhecido popularmente como Pequi, Piqui ou Piquiá, apresenta características marcantes, cheiro inconfundível e sabor exótico, que em virtude dessas particularidades, alguns o designam como a árvore emblemática do cerrado, tendo o nome científico como *Caryocar brasiliense* e pertencente à família Caryocaraceae (Oliveira *et al.*, 2008). Além de ser extensivamente explorada pelo extrativismo, essa planta é amplamente distribuída pelo Brasil, especialmente nos Estados de Goiás, Maranhão, Bahia, Piauí, Mato Grosso, Tocantins e Minas Gerais, sendo protegida por lei em alguns deles. No cerrado, é possível identificar diferentes espécies, como *Caryocar brasiliense* Camb., *C. coriaceum* Wittm. e *C. cuneatum* Wittm (Silva; Lima; Cavalli, 2019).

A composição fitoquímica da planta exibe uma riqueza em nutrientes e substâncias bioativas de relevância para abordagem terapêutica de doenças. Esses compostos obtidos a partir das folhas, por exemplo, apresentam um valor medicinal considerável, destacando-se especialmente no âmbito do tratamento do câncer, regulação do fluxo menstrual, doenças hepáticas e respiratórias (Oliveira; Scariot, 2010). Segundo Oliveira e Scariot (2010), alguns moradores das regiões onde há a presença da espécie, utilizam suas propriedades em tratamentos de bronquite, resfriados e gripes, sendo que o extrato das folhas manifesta eficácia comprovada contra micoses e moluscos.

O pequi é amplamente empregado na gastronomia, desempenhando um papel significativo como ingrediente principal em uma variedade de pratos típicos e tradicionais. Além de conferir sabores distintos e autênticos às preparações culinárias, este fruto é considerado uma fonte rica em proteínas, sais minerais e vitaminas essenciais para a nutrição (Almeida; Silva, 1994; Oliveira *et al.*, 2008). Algumas empresas incluem o pequi na produção de cosméticos, como hidratantes, xampus, condicionadores e sabonetes (Marques, 2001). Esse aproveitamento da espécie destaca não apenas sua importância na culinária regional, mas

também seu papel relevante na indústria de cuidados pessoais, evidenciando sua versatilidade e valor em diversas situações (Oliveira; Scariot, 2010).

Segundo Graças (2015), o ecossistema do Cerrado representa uma valiosa e pouco explorada fonte de plantas nativas que podem ser empregadas como agentes redutores biológicos em processos de síntese de nanopartículas de prata e em fármacos. No cenário atual, o campo da medicina encontra-se diante de desafios concernentes à resistência bacteriana contra os antibióticos tradicionais utilizados para a saúde, destacando a necessidade de explorar fontes alternativas e sustentáveis para otimizar suas propriedades. Uma forma viável é a síntese verde, que além de preservar o meio ambiente, é um uso seguro dos recursos naturais. Estudos apontam que as AgNPs emergem como uma alternativa promissora devido à sua marcada capacidade bactericida (Beyene *et al.*, 2017). A propriedade antimicrobiana dessas AgNPs torna esses nanomateriais aplicáveis em diversas esferas, incluindo a medicina, a indústria, a pecuária e outros setores onde é essencial combater a proliferação desenfreada de microrganismos, usufruindo de materiais sustentáveis para a natureza.

Conforme destacado por Borges (2011), as flores do pequi representam uma fonte abundante de compostos bioativos, que englobam vitaminas e minerais. Esses componentes possuem potencial para diversas aplicações no campo da saúde e da medicina, o que destaca sua utilização na síntese verde de nanopartículas. Podendo ser exploradas no desenvolvimento de novos tratamentos para condições inflamatórias, como artrite e asma, e sua aplicação em formulações de biomateriais (Marques, 2001). Como a utilização de amido da casca da batata inglesa, para criação de biofilmes com propriedades físico-químicas sob medida, adequadas para uma gama de aplicações, desde embalagens de alimentos, até curativos médicos, reforçando sua aplicabilidade com incorporação das AgNPs.

Nos últimos anos, o pequi tem sido objeto de interesse por parte dos pesquisadores devido à sua significativa importância nutricional e terapêutica. O pequi, do qual se extrai o pequi, é uma fonte rica em proteínas, óleos e carotenóides, conforme destacado por Balest (2013). Diante desse contexto, tornou-se essencial buscar informações detalhadas sobre o pequi (*Caryocar brasiliense*) e seus extratos, com o intuito de evidenciar as atividades biológicas e propor rotas de síntese verde de nanopartículas de prata. Esse conhecimento é crucial para orientar novas estratégias de investigação uma vez que há escassez na literatura científica a respeito dessa temática, bem como para identificar potenciais fármacos e aplicações terapêuticas derivadas dessa planta, contribuindo assim para o avanço da pesquisa e desenvolvimento na área.

1. 2 Justificativa

Desde os tempos mais remotos, as plantas têm sido utilizadas na criação de remédios caseiros para o tratamento de doenças, na fabricação de cosméticos e em produtos farmacêuticos, sendo aplicadas pelos meios de saberes tradicionais caseiros, principalmente pela imensa variedade de espécies vegetais, que apresentam um grande potencial por suas propriedades botânicas e medicinais. Assim, observa-se um crescente interesse do campo científico em explorar a flora brasileira na tentativa de buscar potenciais agentes terapêuticos e biorredutores, direcionados às rotas de síntese verde de nanopartículas de prata, na aplicação de tratamento de doenças e no desenvolvimento de biomateriais, por exemplo, biofilmes produzidos a partir de amido da casca da batata. O cerrado destaca-se como uma fonte abundante e inexplorada de gêneros vegetais, sendo o pequizeiro uma das notáveis variedades presentes nesse contexto.

A espécie *Caryocar brasiliense* Camb., fonte de estudo deste trabalho, é uma árvore arbórea nativa do cerrado brasileiro, que apresenta cheiro e gosto únicos, sendo conhecida não apenas pela apreciação na culinária, mas com um grande potencial em diversos ramos da indústria. O seu óleo é utilizado no tratamento para dores de garganta, apresentando atividade antioxidante. Suas folhas e a casca demonstram potencial anti-inflamatório e antimicrobiana, e a farinha do mesocarpo e epicarpo contém um alto teor de fibras alimentares em sua composição. Suas flores possuem uso fitoterápico, utilizados contra hematomas.

O pequi tem importância cultural e gastronômica, além disso tem sido objeto de estudos científicos devido ao seu potencial nutricional, propriedades botânicas, fitoquímicas e medicinais, rico em nutrientes, vitaminas A, C e E, e contém minerais como cálcio, fósforo e ferro. Também é uma fonte de ácidos graxos essenciais, como o ácido oleico e o ácido linoleico, esses compostos têm sido associados a benefícios para a saúde, incluindo propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e cardioprotetoras (Borges, 2011).

Essa espécie apresenta um grande potencial científico, além de outras utilizações no meio culinário, cultural, econômico, ecológico e medicinal. Após fazer uma investigação na literatura científica, foi possível perceber que são poucas as informações encontradas a respeito dos estudos sobre a prospecção fitoquímica, toxicidade e síntese de nanopartículas de prata utilizando extratos obtidos a partir da flor e da folha do pequizeiro. Dessa forma, caracteriza-se como uma possibilidade de pesquisa que busca explorar todas as potencialidades que esta planta do cerrado apresenta, quanto aos extratos das flores e folhas que podem ser utilizados na biossíntese de nanopartículas de prata, visando sua aplicação no desenvolvimento de biomateriais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor rota de síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extratos da espécie *Caryocar brasiliense* visando sua aplicação no desenvolvimento de biomateriais.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar triagem fitoquímica dos extratos de folhas e flores do pequi;
- Avaliar propriedade biológica como toxicidade frente à *Artemia salina*;
- Propor uma rota de síntese verde de nanopartículas obtidas a partir do uso do extrato das folhas e flores do pequizeiro;
- Incorporar as nanopartículas de pratas em biofilmes de amido da casca da batata;
- Avaliar propriedades físico-químicas dos filmes obtidos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pequizeiro (*Caryocar brasiliense* Camb.)

O Brasil pela sua imensidão territorial abriga uma notável diversidade de biomas e ecossistemas que evoluíram ao longo de milhões de anos, compreendendo seis biomas terrestres distintos: Amazônia, Pampas, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga e Pantanal. O Cerrado se destaca como o segundo maior bioma brasileiro, cobrindo cerca de 25% do território nacional e estendendo-se até países vizinhos, perdendo apenas para Amazônia em extensão territorial (Rezende; Caixeta; Queiroz, 2023; Brasil, 2010). A vegetação nativa do Cerrado em diferentes níveis de conservação, ainda ocupa aproximadamente 60,42% do bioma no Brasil, do ponto de vista biológico é reconhecido como a savana mais biodiversa do mundo abrigando 4.400 das 11.000 espécies de plantas nativas em seus diversos ecossistemas (Brasil, 2010).

Dentre as 4.400 espécies endêmicas do Cerrado brasileiro, o pequizeiro é a espécie mais explorada pelo extrativismo, abrangendo diversas espécies como *Caryocar brasiliense* Camb., *C. cuneatum* Wittm. e *C. coriaceum* Wittm., abrangendo principalmente as regiões Centro-Oeste, partes das regiões do Norte, Nordeste e Sudeste, distribuindo-se nos estados do Mato Grosso, Tocantins, Bahia, Distrito Federal, Ceará, Mato Grosso do Sul, Goiás, Maranhão, Rio de Janeiro, Pará, São Paulo e Minas Gerais (Figueiredo; Scariot; Vasconcellos, 2017; Oliveira *et al.*, 2008; Silva; Lima; Cavalli, 2019).

A espécie *Caryocar brasiliense*, de nome popular pequizeiro pertencente à família Caryocaraceae, é considerada símbolo do Cerrado devido às suas várias formas de uso como fitoterápico, na produção de mel, de óleo, taninagem, ornamentação, alimentício, tanífero, com características botânicas distintas, conferindo uma identidade única nesse ecossistema diversificado (Marques, 2001). O fruto classificado como uma dupla, exibe um epicarpo de tonalidade verde clara quando maduro. O endocarpo é caracterizado por sua rigidez e espinhos, é uma peculiaridade do gênero, com massa que envolve as sementes, que pode apresentar tonalidades como amarelo, esbranquiçada, rosa ou laranja, apresentando uma consistência pastosa (Jesus, 2014; Silva; Lima; Cavalli, 2019). “O pequi é composto por exocarpo ou pericarpo (casca) bastante delgado com coloração esverdeada ou marrom-esverdeada, correspondente à menor porção do fruto” (Carvalho; Pereira; Araújo, 2015, p. 5).

É uma árvore de médio porte variando entre 7 a 12 metros com os troncos apresentando uma forma retorcida e com capacidade de crescer lateralmente, por vezes, chegando próximo ao solo, seus frutos são denominados como Pequi, Grão-de-cavalo, Piqui,

Piquiá, Amêndoa-de-espinho, Pequerim, Pequizeiro, Piquiá-bravo, Pequiá-pedra, dependendo da localidade, enriquecendo não apenas a biodiversidade do bioma, mas também desempenhando um papel essencial na subsistência e cultura das comunidades locais (Rezende; Caixeta; Queiroz, 2023; Borges, 2011). Na Figura 1 a seguir, observa-se uma árvore do pé de pequizeiro localizada na cidade de Grajaú - MA.

Figura 1 - Árvore do Pequi (*Caryocar brasiliense*) na cidade de Grajaú – Maranhão.



Fonte: Autoria própria, 2023.

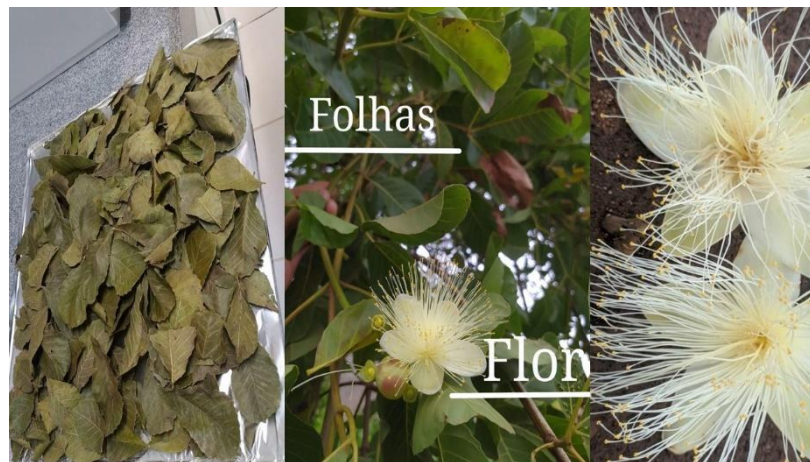
Conforme Oliveira e Scariot (2010, p. 17):

PEQUI é uma palavra que vem da língua indígena tupi, onde “py” significa pele e “qui” espinhos, por causa dos pequenos espinhos no caroço. O nome popular das plantas varia de região para região, porém o nome científico é sempre o mesmo e escrito em latim, para que as pessoas de diferentes lugares possam saber de qual planta estão falando. Existem vários tipos de pequi, mas o pequi mais comum do Cerrado é chamado de *Caryocar brasiliense*. Este nome refere-se a caroço (“caryon” significa núcleo ou caroço), dentro do fruto grande e redondo (“kara” quer dizer cabeça), e que ocorre amplamente no Brasil (“brasiliense” significa originário do Brasil).

Suas folhas são distintas e facilmente identificáveis apresentando três “dedos” na extremidade do ramo, de tamanho considerável possuindo pequenos pêlos em ambos os lados, além de bordas recortadas que contribuem para sua peculiaridade. As flores são igualmente grandes de coloração branco-amarelada que se agrupam em cachos podendo conter até 30 unidades, chamando atenção de uma variedade de animais como araras, cotias, veados, pebas e tatus. Sua florescência ocorre de agosto a novembro, com maturação dos frutos em meados de novembro, sendo encontrados até o mês de fevereiro (Borges, 2011). Essas flores secretam néctar considerado como uma substância adocicada que atrai pássaros e morcegos, enquanto esses animais se alimentam do néctar inadvertidamente transportam grãos de uma flor para

outra desencadeando o processo de polimerização, esse fenômeno resulta na fertilização das flores contribuindo para a formação e desenvolvimento dos frutos da espécie (Oliveira; Scariot, 2010). As folhas e flores do pequizeiro são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Folha e Flor do Pequi (*Caryocar brasiliense*) coletada na cidade de Grajaú-MA.



Fonte: Autoria própria, 2023.

No entanto, o pequizeiro (*Caryocar brasiliense*) é uma das plantas que mais é impactada pelo extrativismo no cerrado, seu fruto é frequentemente colhido devido à sua importância tanto na alimentação, economia e medicina. Essa prática do extrativismo no cerrado envolve a ação de coletar recursos naturais tais como frutos, folhas, sementes, árvores e outros elementos, diretamente da natureza (Queiroz; Rapini; Giulietti, 2006; Oliveira; Scariot, 2010; Silva; Lima; Cavalli, 2019). Diante desse aspecto, a intensidade do extrativismo gera um grande impacto de forma negativa na conservação da espécie, tornando a necessidade de adotar boas práticas de sustentabilidade para garantir a preservação do pequizeiro. Nessa perspectiva, Melo (2021) demonstra que em alguns estados,

Há leis existentes que amparam a sustentabilidade da produção do pequi e criminalizam a extração e comercialização ilegal. Em exemplo às leis: Lei nº 20.308 de 27 de julho de 2012, em seu artigo Art. 1º, determina que, fica declarado de preservação permanente de interesse comum e imune de corte no Estado de Minas Gerais, o pequizeiro (*Caryocar brasiliense*). (Melo, 2021, p. 19).

O que torna o pequi uma espécie rica em diversos aspectos, reforçando seu papel como um tipo de planta multifacetada e valiosa no contexto da flora do Brasil. “A casca e as folhas contêm altos teores de taninos, constituindo matéria-prima para a fabricação de tinturas” (Lima, 2008, p. 51), sendo utilizadas em diversos tratamentos relacionados a doenças respiratórias, regulação do fluxo menstrual, câncer e problemas hepáticos (Figueiredo; Scariot; Vasconcellos, 2017). “Ao utilizar a flor, *in natura* macerada, pode-se

perceber o desaparecimento das coceiras e dos caroços avermelhados que aparecem nas mãos e pés” (Nascimento, 2020, p. 20).

A apreciação do pequi vai além de sua utilização alimentar básica, estendendo-se à riqueza culinária das regiões Centro-Oeste, Norte e parte do Nordeste do Brasil, sua presença é particularmente significativa na vida do homem do campo, sendo considerada uma das plantas mais relevantes para a sua alimentação. Integrando a tradição gastronômica dessas regiões, o pequi é utilizado de diversas formas na culinária regional conferindo sabores únicos e distintos a uma variedade de pratos, incluindo doces, salgados e bebidas (Almeida; Silva, 1994; Oliveira; Scariot, 2010). Assim, o pequizeiro não é apenas uma espécie vegetal no cerrado; é um elemento vivo que desencadeia uma teia complexa de relações entre a natureza, a cultura e a subsistência, moldando de maneira marcante o tecido ambiental e sociocultural dessas regiões.

Sobre a eficácia da planta, Oliveira *et al.* (2008, p. 6) destaca que:

O pequizeiro é uma árvore de múltiplas utilidades desde a sua madeira até o fruto, com aplicações que vão da indústria artesanal até a culinária regional, além de apresentar potencial de uso para a produção de combustíveis e lubrificantes. O extrato de suas folhas apresenta atividade moluscicida e antifúngica, *in vitro*, em diversos microrganismos. Na farmacopéia popular, o pequi contribui para a cura ou a amenização de diversos males. A indústria cosmética, também, se beneficia das propriedades do seu óleo de alta qualidade, tanto da polpa como da amêndoa. No entanto, os pratos da cozinha regional são o ponto alto desse fruto peculiar de cheiro forte e característico.

Segundo estudos, os benefícios provenientes do pequi, particularmente nas áreas da bioquímica e farmacologia, destacam-se pela sua notável e diversificada gama de vantagens. Essa tendência de reconhecimento tem crescido substancialmente nos últimos anos à medida que as pesquisas persistem em validar os efeitos positivos à saúde proporcionados por uma variedade de fitoquímicos naturalmente presentes nas plantas. Este fenômeno reflete não apenas a riqueza intrínseca do pequi, como também o interesse crescente em compreender e explorar as potencialidades e contribuições dessa espécie nativa do Brasil para a promoção da saúde (Lima, 2008).

O fruto do pequi é uma fonte alimentar abundante em carotenóide, especialmente o betacaroteno, apresentando adicionalmente quantidades consideráveis de vitamina e lipídios, sendo o ácido oleico a principal composição lipídica predominante (Lima, 2008; Silva; Lima; Cavalli, 2019). Essa combinação de nutrientes confere ao fruto não apenas características sensoriais distintas, mas também atributos nutricionais valiosos, destacando-se como uma opção alimentar rica em elementos benéficos para a saúde, contribuindo para uma dieta equilibrada e variada.

3.2 Síntese verde de nanopartículas de prata (AgNPs)

A Síntese Verde é uma abordagem amplamente adotada na química moderna, caracterizada pelo uso de substâncias químicas de baixa toxicidade, biodegradáveis e de custo acessível para a produção de nanossistemas, tais como Nanopartículas Metálicas (NPMs). Nesse processo, um organismo biológico, ou algum componente dele, é utilizado como fonte primária ou iniciadora da rota de síntese. Essa prática sustentável não apenas minimiza os impactos negativos ao meio ambiente, como também promove a busca por alternativas mais seguras e eficientes na produção de materiais nanoestruturados (Bonatto, 2016).

Ao longo de décadas, a produção de nanopartículas esteve historicamente associada ao uso de materiais prejudiciais, resultando em impactos negativos com danos ao meio ambiente e à saúde humana. Assim, a busca por métodos de síntese verde que sejam ambientalmente sustentáveis e eficazes tem crescido significativamente, segundo Rocha (2010, p. 10),

Os métodos de síntese biológicos - química verde - de nanopartículas utilizam microrganismos como fungos, enzimas, celulose, quitosana, mel, extratos de plantas e vegetais, sendo inúmeros os compostos que apresentam potencial para formar e estabilizar nanopartículas metálicas.

Decorrente da extensa aplicação das AgNPs em uma variedade de campos, uma gama de estratégias de síntese foi desenvolvida para atender à crescente demanda, com os métodos físicos e químicos emergindo como mais tradicionais e amplamente utilizados, visando mitigar os impactos negativos (Dias *et al.*, 2021). Desde o início da era da nanotecnologia, muitos estudiosos e cientistas têm investigado abordagens alternativas e sustentáveis para obtenção dessas nanopartículas. Dentre as diversas formas de sintetizar de AgNPs, cada vez mais vem ganhando destaque as sínteses verdes que empregam extratos de plantas. Considerando que, as plantas surgem como uma alternativa promissora de bioativos capazes de desempenhar o papel de agentes redutores em potencial. Bonatto (2016, p. 4) destaca que

As plantas produzem uma grande variedade e abundância de substâncias que podem atuar na redução de íons metálicos e/ou na estabilização das superfícies de NPs, dentre eles aminoácidos, ácido cítrico, flavonoides, compostos fenólicos, terpenoides, compostos heterocíclicos, enzimas, peptídeos, polissacarídeos, saponinas e taninos.

As AgNPs, com tamanhos variando de 1 a 100 nm, sendo produzidas através de métodos químicos, físicos ou biológicos, estabelecem uma série de interações complexas com as bactérias, tanto na superfície das membranas quanto no interior das células bacterianas (Rocha, 2010; Brito; Viana; Viana, 2022). Esse processo envolve a adesão das nanopartículas às membranas celulares e sua subsequente penetração nas estruturas internas das células. Essa

interação entre as nanopartículas e as bactérias é facilitada pela afinidade significativa das partículas por grupos químicos contendo enxofre e fósforo, elementos essenciais encontrados nas biomoléculas dos microrganismos, contribuindo para a eficácia das nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos, interferindo nos processos vitais das bactérias, e assim, inibindo seu crescimento e proliferação (Bonatto, 2016; Dias, 2021; Antunes *et al.*, 2013).

Essa interação dos conceitos de utilização da síntese por meio das plantas como substâncias que atuam na redução de nanopartículas com a nanotecnologia, cria métodos de síntese que evitam o uso de agentes redutores nocivos, polímeros, surfactantes, solventes, possibilitando reduzir os possíveis efeitos na geração de resíduos tóxicos (Rocha, 2010; Dias, 2021). Nessa concepção, Bonatto (2016, p. 46) diz que

Dentre os metais utilizados para a síntese de nanopartículas, a prata tem sido extensivamente estudada, devido às suas propriedades únicas, tais como alto potencial redutor, estabilidade química, condutividade elétrica relativamente boa, potencial catalítico e diversas propriedades biológicas para o controle de bactérias e fungos.

A redução de íons de prata, por meio das combinações moleculares encontradas nos extratos, tais como proteínas, polissacarídeos, vitaminas, aminoácidos e enzimas, ocorre quimicamente de forma segura, resultando em um vasto corpo de pesquisa que aproveita esses compostos para aplicação em diversas áreas. Além disso, os agentes estabilizadores atuam na funcionalização das superfícies das nanopartículas, conferindo-lhes compatibilidade em ambientes biológicos e aprimorando características como os efeitos bactericidas e antioxidantes observados em sistemas coloidais contendo íons metálicos de prata (Rocha, 2010). Destacando a importância dessas abordagens na nanotecnologia moderna e no desenvolvimento de soluções avançadas para aplicação em diversas áreas, desde a saúde na medicina, até a indústria com embalagens ativas.

4 METODOLOGIA

4.1 Material Vegetal

O material vegetal, composto por folhas e flores do pequi (*Caryocar brasiliense*) foi coletado nas imediações da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) na cidade de Grajaú-MA. O local de coleta apresenta coordenadas geográficas específicas registradas como S="5°49'46.2" e W="46°09'44.4. É importante mencionar que as folhas foram colhidas no mês de maio de 2022, enquanto as flores foram coletadas em outubro de 2023. Durante o processo de coleta, foram priorizadas as folhas e flores caídas encontradas no solo, as quais exibiam boas condições físicas, constituindo-se como elementos ideais para fins da pesquisa.

O material vegetal foi levado para o laboratório de Química e Biologia da Universidade, para realizar os procedimentos de higienização e limpeza. As folhas foram submetidas à lavagem, inicialmente com água corrente da torneira e, em seguida, com água destilada. As flores foram higienizadas com papel toalha. Posteriormente, as amostras seguiram dispostas para secagem, primeiramente em temperatura ambiente e, subsequentemente, em estufa. O processo de secagem em estufa demandou dois dias (48 horas) para as folhas e quatro dias (96 horas) para as flores a uma temperatura de 40°C. Após a conclusão do processo de secagem, o material foi triturado até alcançar uma consistência fina uniforme, para isso, utilizou-se um liquidificador doméstico por aproximadamente 5 minutos e em seguida peneirado, obtendo-se um pó do material vegetal.

O extrato bruto foi obtido por meio do processo de maceração, empregando etanol absoluto 99,5% como solvente, na proporção de 100 g do pó de material vegetal para 500 mL de etanol, com o objetivo de adquirir uma tintura a 20%. A mistura permaneceu em repouso por um período de 72 horas, ocorrendo agitação esporádica ao longo desses três dias, após a fase de maceração, procedeu-se à filtração utilizando uma bomba a vácuo. O extrato fluido resultante, conforme mostra a Figura 3, foi armazenado em frasco âmbar por 48h na capela, sendo posteriormente concentrados por meio de um evaporador rotativo na temperatura de 40 °C. E subsequente secagem do solvente na capela, obtendo o extrato das folhas e flores do pequi, identificados como E_{et}Fo e E_{et}Fl, respectivamente, e acondicionados em tubos Falcon e armazenados sob refrigeração (na geladeira), para posterior realização de testes.

Figura 3 - Extrato bruto da folha ($E_{ct}Fo$) e flor ($E_{ct}Fl$) do pequi concentrado.



Fonte: Autoria própria, 2023.

4.2 Prospecção Fitoquímica

Os procedimentos de testes fitoquímicos foram conduzidos conforme as diretrizes do manual de análise fitoquímica e cromatográfica (Barbosa *et al.*, 2004), com adaptações, o qual delinea o método para identificação de classes de metabólitos secundários em extratos vegetais.

A triagem fitoquímica é um processo utilizado para identificar e analisar os compostos químicos presentes em plantas que envolve a extração de componentes químicos utilizando solventes adequados, seguida de testes para identificar a presença de diferentes classes de metabólitos. Essa técnica é amplamente utilizada na área da farmacologia e fitoterapia para descobrir novos compostos bioativos que possam ter propriedades terapêuticas, tipicamente utilizando espécies nativas do cerrado (Carvalho; Pereira; Araújo, 2015).

4.2.1 Alcalóides

Inicialmente, solubilizou-se 40 miligramas do extrato seco e triplicata em 5 mL de uma solução de HCl (ácido clorídrico) a 5%, utilizando o banho ultrassônico para assegurar a completa dissolução. Logo mais, a mistura foi filtrada, e cinco gotas do reativo de Bouchardat foram adicionadas. Previamente foi preparada a solução de reativo de Bouchardat, para tanto pesou-se 1 g de Iodeto de potássio e 0,5 g de Iodo ressublimado e dissolvidos em 25 mL de água destilada.

➤ **Resultado:** o resultado positivo é indicado pela aparição de um precipitado laranja-avermelhado após a adição do reativo de Bouchardat.

4.2.2 Saponinas Espumílicas

Primeiramente, pesou-se 20 miligramas do extrato seco e em triplicata para a preparação do extrato etanólico. Em seguida, adicionou-se 5 mL de água destilada, solubilizado em banho ultrassônico, logo, completando o volume para 15 mL com mais água destilada. Após isso, o sistema foi agitado vigorosamente por 2 minutos, mantendo o tudo totalmente fechado, ficando em repouso durante 30 minutos. O teste em branco consistiu apenas na presença de água destilada, sem adição do extrato.

➤ **Resultado:** é considerado resultado positivo para Saponina Espumílica, caso a camada de espuma permaneça estável por mais de meia hora após a agitação.

4.2.3 Açúcares Redutores

Inicialmente, realizou-se a pesagem de 20 miligramas do extrato seco e em triplicata e procedeu-se à dissolução em 5 mL de água destilada. O processo foi complementado pelo uso de um banho ultrassônico para assegurar completa dissolução, seguido por uma etapa de filtração. Posteriormente, adicionou-se 2 mL do reativo de FEHLING A e 2 mL do reativo de FEHLING B, aquecendo a mistura em banho Maria (BM) em ebulição por um período de 5 minutos.

➤ **Resultado:** os Açúcares Redutores são evidenciados pelo surgimento de um precipitado na cor vermelha tijolo.

4.2.4 Polissacarídeos

No início, foram dissolvidos 20 miligramas do extrato seco em triplicata, diluindo-o em água destilada e submetendo-o ao banho ultrassônico para promover a solubilização do extrato. O líquido foi posteriormente filtrado para remover resíduos de materiais do extrato que não solubilizaram, em seguida, foram adicionadas duas gotas de lugol. Para a preparação da solução de lugol, 5 g de Iodeto de potássio (KI) e 2,5 g de Iodo foram dissolvidos em 50 mL de água destilada, completando-se o volume até 100 mL, previamente.

➤ **Resultado:** indica resultado positivo pelo aparecimento de uma coloração azul.

4.2.5 Ácidos Orgânicos

De início, 20 miligramas do extrato seco em triplicata foram dissolvidos em 5 mL de água destilada em banho ultrassônico para a solubilização totalmente do material e submetidos à filtração. Em seguida, 2 mL do extrato foram transferidos para um tubo de

ensaio, ao qual foram adicionadas cinco gotas do Reativo de PASCOVÁ. A solução do reativo foi preparada antecipadamente, misturando-se 9 partes de A para 1 parte de B, realizada apenas no momento de uso devido a sua alta volatilidade. Vale destacar que a mistura é estável durante 5 a 10 minutos.

- **Resultado:** o resultado positivo é caracterizado pela descoloração do Reativo.

4.2.6 Fenóis e Taninos

Para o teste de Fenóis e Taninos, inicialmente pesou-se 20 miligramas do extrato seco em três tubos (triplicata), em 5 mL de água destilada, expondo-o ao banho ultrassônico para garantir a completa dissolução, sendo posteriormente filtrado o material. Depois, adicionou-se duas gotas da solução alcoólica de Tricloreto de Ferro (FeCl_3) a 1%.

- **Resultado:** O resultado positivo é determinado pela comparação com o teste em branco (água + solução de FeCl_3), onde qualquer alteração na coloração (1) ou formação de precipitado (2) é indicativo de reação positiva.

- **Mudança de coloração:** uma tonalidade inicial que varia de azul a vermelho sugere a presença de fenóis, caso o teste de controle (branco) resulte negativo.

- **Precipitado:** A ocorrência de um precipitado com pigmentação azul indica a presença de taninos pirogálicos, enquanto o pigmento verde sugere a presença de taninos catéquicos.

4.2.7 Esteróides e Triterpenóides

Para o teste realizou-se a solubilização de 20 miligramas do extrato seco em triplicata, empregando 10 mL de clorofórmio, em uma capela para garantir condições seguras. Posteriormente, procedeu-se à dissolução completa da solução por meio do banho ultrassônico, seguido pela etapa de filtração para remover impurezas. Após a filtração, o líquido resultante foi transferido para os tubos de ensaio completamente secos. Com isso, adicionou-se 1 mL de Anidrido Acético, realizando uma agitação suave, seguida da adição de três gotas de Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. A mistura foi agitada novamente com cuidado, esperando a reação.

- **Resultado:** o resultado positivo é evidenciado pela alteração de cores que vão de um azul evanescente para um verde persistente, indicando a ocorrência de uma reação positiva no teste.

4.2.8 Flavonóides

Inicialmente, realizou-se a dissolução de 50 miligramas do extrato seco, repetida em triplicata, diluído em 10 mL de metanol com o auxílio de um banho ultrassônico para promover a dissolução eficiente, seguida da filtração do material. Depois, foram adicionadas à solução cinco gotas de ácido clorídrico (HCl) e 0,5 cm de raspas de magnésio, desencadeando um processo que resultou na fervura da mistura. O ponto final da reação foi determinado pela cessação da efervescência, indicando que o ciclo reacional havia sido concluído.

➤ **Resultado:** o resultado positivo é determinado pela manifestação de uma coloração rósea na mistura.

4.3 Avaliação da toxicidade frente à *Artemia salina*

Para conduzir este teste, o ensaio de letalidade em *Artemia salina* seguiu a metodologia originalmente proposta por Meyer *et al.* (1982), com adaptações. Inicialmente, para promover a eclosão, 1 g de cistos de *Artemia salina* foi submetido a 2000 mL de água da torneira com 60 g de sal de cozinha (NaCl), sob agitação mecânica por 24 horas na presença de luz. Após a eclosão, que ocorreu em 24 horas, a água foi substituída por uma solução salina, mantendo-se as condições de luz, sem agitação mecânica, até completar as 48 horas de realização do teste.

A preparação da solução salina, conforme descrito por Espinoza (2015), consiste em uma solução nutritiva (água do mar artificial/solução salina). Nesse processo, foram pesados 23 gramas de Cloreto de Sódio (NaCl), 11 gramas de Cloreto de Magnésio hexahidratado ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), 4 gramas de Sulfonato de Sódio (Na_2SO_4), 1,3 gramas de Cloreto de Cálcio di-hidratado ($CaCl_2 \cdot H_2O$) e 0,7 gramas de Cloreto de Potássio (KCl), os quais foram solubilizados em 1000 mL de água destilada em um balão volumétrico. Utilizando um pHmetro (Mstecnopom® RS 232) com eletrodo (Lucadema®), o pH da solução foi ajustado para 9,0 por meio de uma solução de Carbonato de Sódio (Na_2CO_3). Após a eclosão dos náuplios onde alcançaram a fase adulta, os náuplios foram empregados para a análise de toxicidade do extrato proveniente das folhas e flores do pequi.

Figura 4 - Náuplios de *Artemia Salina* após 48 horas de eclosão.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

Para o preparo das soluções testes, inicialmente, uma solução estoque do extrato foi preparada na concentração $2000 \mu\text{g.mL}^{-1}$ (2 mg.mL^{-1}). Esse procedimento foi conduzido em um balão volumétrico de 50 mL, onde 100 mg do extrato foram pesados e, em seguida diluídos com solução salina até atingir o volume total de 50 mL. Posteriormente, a solução foi submetida a um banho ultrassônico para a completa dissolução do extrato. Adicionalmente, foram preparadas diluições em triplicata das amostras destinadas aos testes, cobrindo uma faixa de concentrações que variaram de $50 \mu\text{g.mL}^{-1}$ a $2000 \mu\text{g.mL}^{-1}$ e no branco. Cada frasco contendo as diluições (oito diluições) foi inoculado com 10 náuplios e mantido sob incidência de luz, sendo que a contagem dos sobreviventes foi realizada após 24 horas para descobrir a concentração letal de 50% dos microcrustáceos.

4.3.1 Avaliação estatística

Os ensaios foram realizados em triplicata, onde os tubos foram identificados em Amostra A₁, A₂, A₃, respectivamente, até o tubo contendo a solução mãe e o branco. Os resultados foram obtidos utilizando o software Microsoft® Excel®, e um gráfico foi gerado com os eixos representando a concentração em $\mu\text{g.mL}^{-1}$, versus a porcentagem (%) de náuplios mortos. Essa % de náuplios mortos foi determinada utilizando a equação “ $y = ax + b$ ”, calculando a média aritmética dos números de náuplios mortos em cada concentração, comparado com o número de náuplios mortos na solução controle (Branco). As concentrações letais médias (CL₅₀) para *Artemia salina* são definidas quando o valor X correspondente é menor que $1000 \mu\text{g.mL}^{-1}$.

4.4 Síntese de Nanopartículas de Prata (AgNPs)

Para a síntese de AgNPs, empregou-se uma solução com 2,5 g do extrato da folha e da flor respectivamente, sendo diluídos em um balão volumétrico de 50 mL, adicionando água destilada e solubilizando em banho ultrassônico. A solução de nitrato de prata (AgNO_3) foi preparada utilizando 0,0171 g do sal em balão volumétrico de 50 mL, completando com água destilada para diluição, em temperatura ambiente. Após a diluição dos extratos, a solução foi transferida para um Erlenmeyer de 150 mL, e a solução de AgNO_3 foi adicionada gota a gota à solução de extrato com auxílio de uma bureta de 25 mL e suporte universal. Esse processo de mistura das soluções ocorreu sob agitação magnética vigorosa, prolongando-se por um período de 2 horas até a observação da mudança de coloração para um tom amarelado castanho coloidal. Posteriormente, as nanopartículas foram cuidadosamente armazenadas em frascos âmbar, o qual foi previamente limpo e esterilizado, sendo revertido com papel alumínio para garantir a preservação e estabilidade das nanopartículas sem a incidência de luz (Souza, 2020).

O processo na produção das AgNPs foi monitorado utilizando um espectrofotômetro UV-visível. Inicialmente, foram retiradas as alíquotas de 3 mL da solução de extrato e da solução de nitrato de prata (AgNO_3) como referência (branco). Posteriormente, foram coletadas alíquotas da síntese de nanopartículas de prata a cada 30 minutos após o início do processo, para acompanhar a evolução da reação ao longo do período de 2 horas.

4.5 Biofilme

A elaboração dos biofilmes teve início com a pesagem de 7,5 g de amido da casca de batata em um béquer de 250 mL, ao qual foram adicionados 150 mL de água destilada. Esse processo ocorreu sob agitação magnética sob aquecimento, utilizando uma barra magnética (peixinho) mantendo a temperatura de 80° C. Após a mistura atingir uma consistência viscosa e transparência, realizou-se a adição de glicerina e carboximetilcelulose, que permaneceu sob agitação e aquecimento durante 10 minutos. Decorrido esse intervalo, a mistura filmogênica foi transferida para as placas de Petri. Em uma porção dessa mistura, adicionou-se 5 mL das nanopartículas de prata, sendo submetidas à agitação por apenas 1 min. Posteriormente, as placas de Petri foram dispostas para a evaporação do solvente na estufa a 40°C, permanecendo nesse ambiente por 48 horas.

4.6 Caracterização dos biofilmes

4.6.1 Transparência

A transparência do biofilme foi avaliada por meio de uma técnica utilizando o biofilme sobre uma imagem de xadrez. Esse procedimento permitiu a observação e avaliação direta da transparência dos biofilmes, proporcionando uma análise visual detalhada e confiável do material estudado.

4.6.2 Teste de intumescimento

De acordo com Souza (2020), para o teste de intumescimento, os biofilmes foram cortados em quadrados com dimensões de 1 cm x 1 cm e secos em uma estufa a 40°C por 24 horas para remoção de qualquer umidade residual presente. Posteriormente, as amostras foram pesadas em uma balança analítica para determinar a massa inicial (m_i) e colocadas em um vidro de relógio. Utilizando uma proveta de 10 mL, adicionou-se água destilada às amostras até que ficassem completamente imersas. As massas das amostras foram determinadas após intervalos de 30 minutos, onde o excesso de líquido foi removido com auxílio papel toalha, e então pesadas novamente ao longo de 2 horas. O experimento foi realizado em triplicata e o grau de intumescimento de cada amostra ao longo do tempo (t) foi determinado medindo-se a massa (m_t), conforme calculado pela equação a seguir.

$$(\%) = \frac{m_i - m_o}{m_o} \times 100$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Prospecção Fitoquímica

A triagem fitoquímica fornece informações importantes sobre os constituintes químicos presentes nas plantas, auxiliando na seleção de plantas medicinais com potencial terapêutico e contribuindo para o desenvolvimento de novos medicamentos. Além disso, também pode ser usada para avaliar a qualidade e autenticidade das matérias-primas vegetais utilizadas na produção de fitoterápicos, e tem como principal objetivo identificar classes de metabólitos secundários relevantes para a ciência (Cruz *et al.*, 2022). Após a identificação dos compostos, são necessários estudos posteriores para avaliar suas propriedades farmacológicas, mecanismos de ação e potencial terapêutico, bem como a realização de testes de toxicidade e estudos clínicos para determinar a segurança e eficácia desses compostos em seres humanos (Saraiva *et al.*, 2018).

Os resultados provenientes da triagem fitoquímica do extrato E_{et}Fo são apresentados de maneira detalhada na Tabela 1. Nessa análise, observou-se que os resultados foram positivos para diversas classes de metabólitos secundários, incluindo saponinas espumílicas, açúcares redutores, taninos, alcalóides, esteróides e triterpenóides. Em uma série de oito testes realizados, apenas três apresentaram resultados negativos na identificação dos metabólitos secundários, sendo as classes de polissacarídeos, flavonóides e ácidos orgânicos.

Tabela 1 - Triagem fitoquímica do extrato da folha do pequi.

CLASSES DE METABÓLITOS	RESULTADO	TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	BRANCO
Saponinas Espumílicas	Positivo	+	+	+	(-)
Polissacarídeos	Negativo	-	-	-	(-)
Fenóis e Taninos	Positivo	+	+	+	(-)
Açúcares redutores	Positivo	+	+	+	(-)
Alcalóides	Positivo	+	+	+	(-)
Ácidos orgânicos	Negativo	-	-	-	(-)
Flavonóides	Negativo	-	-	-	(-)
Esteróides e Triterpenóides	Positivo	+	+	+	(-)

Fonte: Autoria própria, 2023.

O extrato E_{et}Fl apresentou para triagem fitoquímica a presença de saponinas espumílicas, alcalóides, fenóis e taninos, açúcares redutores e flavonóides. O teste foi negativo para as classes de esteróides e triterpenóides, polissacarídeos e ácidos orgânicos, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Triagem fitoquímica do extrato da flor do pequi.

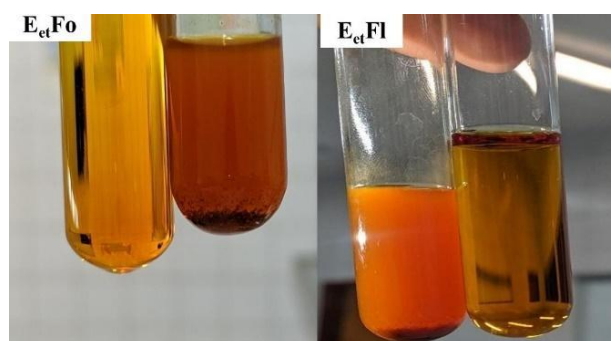
CLASSES DE METABÓLITOS	RESULTADO	TUBO 1	TUBO 2	TUBO 3	BRANCO
Saponinas Espumílicas	Positivo	+	+	+	(-)
Polissacarídeos	Negativo	-	-	-	(-)
Fenóis e Taninos	Positivo	+	+	+	(-)
Açúcares redutores	Positivo	+	+	+	(-)
Alcalóides	Positivo	+	+	+	(-)
Ácidos orgânicos	Negativo	-	-	-	(-)
Flavonóides	Positivo	+	+	+	(-)
Esteróides e Triterpenóides	Negativo	-	-	-	(-)

Fonte: Aatoria própria, 2023.

A triagem fitoquímica para os extratos analisados neste estudo revelaram divergências nas classes de esteróides e triterpenóides, sendo positivo para o E_{et}Fo, enquanto o E_{et}Fl apresentou resultado negativo. Em contraste, para os flavonóides, apresentou resultado negativo para o extrato E_{et}Fo e positivo para o extrato E_{et}Fl como mostrado nas Tabelas 1 e 2. Essas diferenças na composição fitoquímica entre as folhas e as flores podem ser influenciadas por vários fatores, como estágio de desenvolvimento, localização da planta, função biológica e condições ambientais (Cruz *et al.*, 2022; Carvalho; Pereira; Araújo, 2015; Cardoso, 2021).

Para o teste de alcalóides, observou-se a formação de um precipitado de coloração laranja avermelhado indicando a presença dessa classe nos extratos E_{et}Fo e E_{et}Fl (Figura 5). Os alcalóides possuem propriedades físicas e químicas variadas, incluindo um ou mais átomos de nitrogênio em anéis heterocíclicos, que desempenham funções importantes nas plantas, como a proteção contra predadores e doenças, atuando como repelentes inseticidas ou até mesmo como antibióticos naturais (Santos; Galindo; Queiroz, 2020). Além disso, muitos alcalóides têm sido estudados e utilizados na medicina, devido às suas propriedades anti-inflamatórias e terapêuticas para o tratamento de doenças cardíacas, câncer, hipertensão e infecções. Sendo amplamente utilizado para testes de toxicidade (Sandini; Berto; Spinosa, 2013).

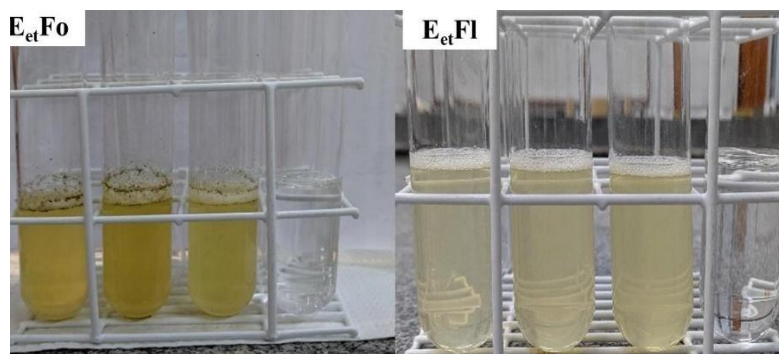
Figura 5 - Triagem fitoquímica para alcalóide.



Fonte: Aatoria própria, 2023.

As saponinas espumídicicas são grupos de substâncias presentes nas plantas como uma forma de defesa contra fungos e outros patógenos, além de exibir efeitos tóxicos sobre os insetos, conhecidas por suas propriedades detergentes e espumantes (Costa, 2015; Saraiva *et al.*, 2018). As Saponinas possuem propriedades antioxidantes, analgésicas, cicatrizantes, hipocolesterolemiantes, antimicrobiana, larvicida e anti-inflamatórias (Lopes *et al.*, 2011; López-Sánchez *et al.*, 2022). Para o teste, a formação de uma camada de espuma com permanência por mais de 30 min (meia hora), indicou presença de saponinas espumídicicas nos extratos da folha e da flor do *Caryocar brasiliense*, como é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Triagem fitoquímica para saponinas.

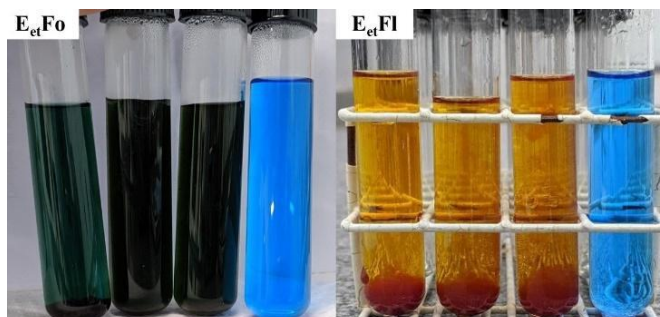


Fonte: Aatoria própria, 2023.

Os açúcares redutores estão presentes nas plantas na forma de carboidratos simples, como a glicose e a frutose, sendo denominados como monossacarídeos. Esses compostos podem ter propriedades medicinais e nutricionais, podendo ser utilizados na produção de medicamentos e alimentos funcionais (Bernardi, 2022; Santos; Gemmer; Oliveira, 2016). São carboidratos que possuem um grupo funcional chamado grupo aldeído ou grupo cetona, que são capazes de reduzir íons metálicos (Lima, 2023). Para denominação de açúcares redutores presente nos extratos, foi realizado um teste onde o surgimento de um

precipitado de coloração vermelho tijolo indicativo da presença de açúcares redutores (Figura 7).

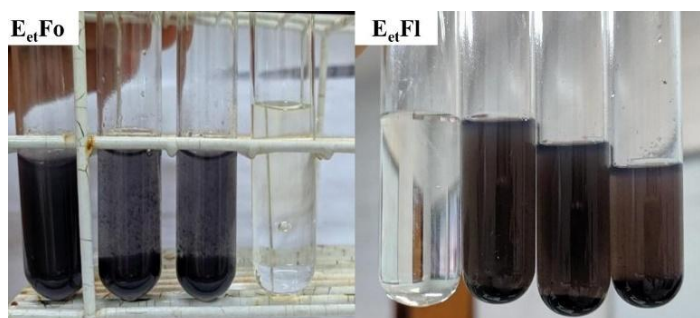
Figura 7 - Triagem fitoquímica para Açúcares Redutores.



Fonte: Autoria própria, 2023.

A presença de uma coloração e precipitado escuro azul assinalou a existência de taninos pirogálicos (taninos hidrolisáveis) nos extratos de *Caryocar brasiliense* (Figura 8). Os taninos, também conhecidos como taninos fenólicos, são um tipo específico de fenóis, eles são compostos solúveis em água que podem ser encontrados em várias partes das plantas, como cascas, folhas, flores e frutas (Satori; Castro; Mori, 2014; Costa, 2015). Plantas ricas em taninos têm propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antiviral, analgésica, para o tratamento de doenças do fígado e para a regularização do fluxo menstrual. (Araújo; Queiroz; Figueirêdo, 2023). “Os taninos podem agir como anti-inflamatórios e cicatrizantes” (Nascimento, 2020, p. 30).

Figura 8 - Triagem fitoquímica para Fenóis e Taninos.

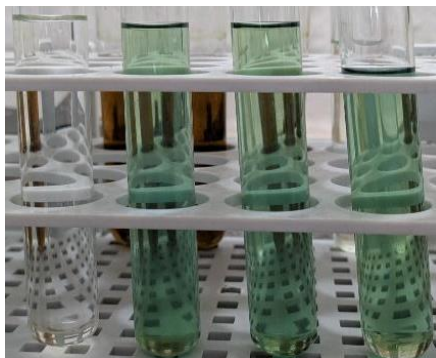


Fonte: Autoria própria, 2023.

Os esteróides são fundamentais para a área da farmacologia, principalmente na produção de medicamentos que inclui anticoncepcionais, agentes anabolizantes e anti-inflamatórios (Cardoso, 2021; Lopes *et al.*, 2011). Enquanto os triterpenóides são empregados na fabricação de produtos farmacêuticos e cosméticos, oferecendo atividades analgésicas, antioxidantes, anticancerígenas e anti-inflamatórias (Viana, 2015; Saraiva *et al.*, 2018). Para o

teste, a mudança repentina de cores que foram do azul evanescente ao verde persistente indicou um resultado positivo para esteróides e triterpenóides, conforme relatado por Silva; Miranda e Conceição (2010) (Figura 9).

Figura 9 - Triagem fitoquímica para Esteróides e Triterpenóides ($E_{et}Fo$).



Fonte: Autoria própria, 2023.

Os flavonóides têm sido explorados por sua eficácia no tratamento de doenças neurológicas (Cardoso, 2021; Cruz *et al.*, 2022), apresentando grande interesse farmacológico. Desempenham diversas funções nas plantas, como atração de polinizadores, proteção contra doenças e pragas, regulação do crescimento e desenvolvimento, proteção contra radiação ultravioleta, sendo a classe mais pesquisada, seguida pelos alcalóides, visto que despertam mais interesse na indústria de cosmético e farmacêutica (Nascimento, 2020; Silva, 2023; Oliveira Filho *et al.*, 2023). Para o teste de flavonóides foi adicionado gotas de HCl e raspas de magnésio no extrato da flor de pequi já diluído em metanol, o surgimento de uma coloração rósea na mistura evidenciou reação positiva (Figura 10). A presença de flavonóides é muito importante, pois possuem propriedades benéficas para a saúde humana, atuando como anti-inflamatórios, antimicrobianos, antiviral, antioxidantes e anticancerígenos.

Figura 10 - Teste de Flavonóides ($E_{et}Fl$).



Fonte: Autoria própria, 2023.

5.2 Avaliação da toxicidade frente à *Artemia salina*

O teste de toxicidade em *Artemia salina* é um método comumente usado para avaliar a toxicidade aguda de substâncias em organismos aquáticos. A *Artemia salina*, também conhecida como camarão de sal, é um organismo sensível a poluentes químicos e é amplamente utilizada em ensaios toxicológicos (Machado, 2003; Saraiva *et al.*, 2018). A avaliação da toxicidade em relação à *Artemia salina*, tanto para o extrato das folhas quanto para o extrato das flores do pequi, foi realizada em um intervalo de 24 horas. Os resultados de toxicidade letal para 50 % da população de náuplios foram apresentados na Tabela 3 (extrato das folhas) e na Tabela 4 (extrato das flores). Essa toxicidade é determinada medindo a concentração letal (CL₅₀) que é definida como a concentração na qual 50% dos náuplios de *Artêmias* morrem.

O bioensaio com *Artemia salina* é utilizado tanto como um indicador de toxicidade para determinação e classificação de possíveis fármacos, quanto de atividades biológicas para uma variedade de substâncias químicas, incluindo os extratos de plantas (Dauvy *et al.*, 2012; Silva; Miranda; Conceição, 2010). Conforme Machado (2003), após a exposição à substância em teste, a sobrevivência dos organismos é avaliada por meio da contagem do número de náuplios vivos em cada concentração, obtendo-se a média pelo número de mortos, como mostra as Tabelas 3 (extrato das folhas) e Tabela 4 (extrato das flores). O cálculo é realizado pela equação $y = ax + b$, definido pelas equações da reta representadas pelos coeficientes “a” e “b”.

Tabela 3 - Resultado do teste de toxicidade *in vitro* frente à *Artemia salina* do extrato etanólico da folha do Pequi.

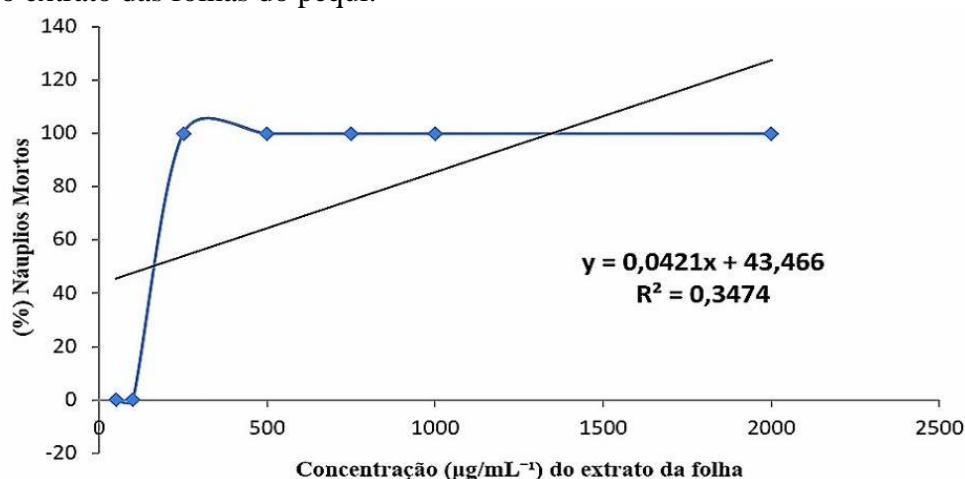
Concentração (µg.mL ⁻¹)	Número de Náuplios Vivos (%) (24h)	Número de Náuplios Mortos (%) (24 h)	Cálculo CL ₅₀ (µg.mL ⁻¹)
2000	0	100	$y=0,0421x + 43,484$ $50=0,0421 x +43,484$ $50- 43,484/0,0421$ $x=6,516/0,0421$ $x=154,774347$
1000	0	100	
750	0	100	
500	0	100	
250	0	100	
100	70	30	
50	90	10	
Branco	100	0	
			CL₅₀ = 154,8

Fonte: Autoria própria, 2023.

Para o extrato etanólico usando as folhas do pequi, na Tabela 3 estão contidos os resultados do bioensaio de citotoxicidade frente a *Artemia salina*. O extrato exibiu uma tendência de toxicidade na faixa de concentração variando de 2000 µg.mL⁻¹ a 250 µg.mL⁻¹, resultando em 100% de mortalidade dos náuplios. Destaca-se que a toxicidade aumentou

significativamente a partir da concentração de $250 \mu\text{g.mL}^{-1}$, com mais de 50% da população de náuplios não conseguindo sobreviver, indicando uma resposta aguda à toxicidade. A Concentração letal média (CL_{50}) foi calculada a partir da equação da reta conforme mostra o Gráfico 1, como sendo igual a $154,8 \mu\text{g.mL}^{-1}$, apresentando a alta toxicidade do extrato etanólico das folhas do pequi (*Caryocar brasiliense*).

Gráfico 1 - Concentração Letal (CL_{50}) que ocasiona a morte de metade dos náuplios quando utilizado o extrato das folhas do pequi.



Fonte: Autoria própria, 2023.

De acordo com a literatura científica, há uma escassez de estudos abordando os efeitos toxicológicos da espécie *Caryocar brasiliense*, particularmente em relação às folhas e flores, sendo esse um dado novo que poderá fornecer subsídio para pesquisas futuras. Em um dos trabalhos encontrados, Trasel (2017) investigou a toxicidade da espécie em diversas concentrações utilizando os microcrustáceos e constatou que o óleo extraído da polpa do pequi demonstrou baixa toxicidade. Por outro lado, Nascimento (2020) observou que os extratos obtidos das flores do pequi apresentaram maior toxicidade frente à *Artemia salina* foram os de natureza polar, especialmente os extratos etanólicos, hidroalcolólicos, cetônicos e metanólico, especialmente na concentração mais elevada ($2000 \mu\text{g.mL}^{-1}$).

Os resultados do bioensaio de citotoxicidade diante de *Artemia salina* para o extrato etanólico obtido das flores do pequi estão demonstrados na Tabela 4. Neste estudo, observou-se uma consistência nos resultados, onde o extrato exibiu uma variação de $500 \mu\text{g.mL}^{-1}$ a $2000 \mu\text{g.mL}^{-1}$ em relação aos outros dados, levando a uma mortalidade de 100% dos indivíduos. Analisou-se que a toxicidade aumentou de forma mais significativa a partir da concentração de $500 \mu\text{g.mL}^{-1}$, resultando em mais de 50% da população de náuplios incapaz de sobreviver, sugerindo uma resposta à toxicidade, com a determinação da concentração letal

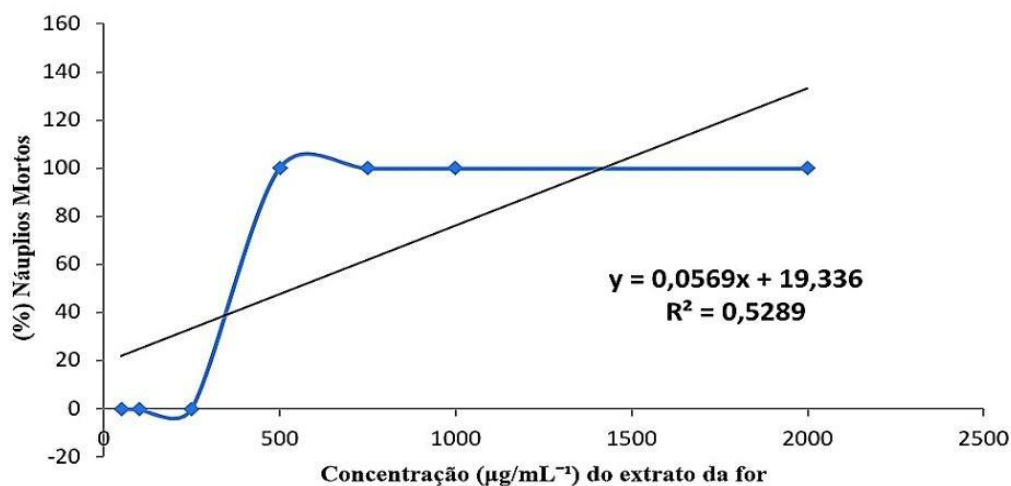
média (CL₅₀) sendo realizada através da equação da reta (Gráfico 2), resultado em 538,9 µg.mL⁻¹. Portanto, conclui-se que o extrato etanólico das flores do pequi (*Caryocar brasiliense*) demonstra uma toxicidade leve, apresentando uma discrepância em relação ao extrato etanólico das folhas.

Tabela 4 - Resultado do teste de toxicidade *in vitro* frente à *Artemia salina* do extrato etanólico das flores do Pequi.

Concentração (µg.mL ⁻¹)	Número de Náuplios Vivos % (24h)	Número de Náuplios Mortos % (24 h)	Cálculo CL ₅₀ (µg.mL ⁻¹)
2000	0	100	$y=0,0569x + 19,336$ $50=0,0569x + 19,336$ $50 - 19,336/0,0569$ $x=24,773/0,0569$ $x=538,91$
1000	0	100	
750	0	100	
500	0	100	
250	90	10	
100	100	0	
50	100	0	
Branco	100	0	CL ₅₀ = 538,9

Fonte: Autoria própria, 2023.

Gráfico 2 - Concentração Letal (CL₅₀) que ocasiona a morte de metade dos náuplios quando utilizado o extrato das flores do pequi.



Fonte: Autoria própria, 2023.

Conforme discutido por Silva *et al* (2017), o nível de toxicidade de extratos etanólicos e aquosos frente à *Artemia salina*, é baseada nos valores de concentração letal média (CL₅₀). A literatura aborda que os valores de CL₅₀ inferiores a 249 µg/mL indicam alta toxicidade, enquanto CL₅₀ entre 250 e 499 µg/mL estão associados a uma toxicidade moderada, extratos com CL₅₀ entre 500 e 1000 µg/mL são classificados como levemente tóxicos, já aqueles com CL₅₀ acima de 1000 µg/mL são considerados atóxicos. Esse critério

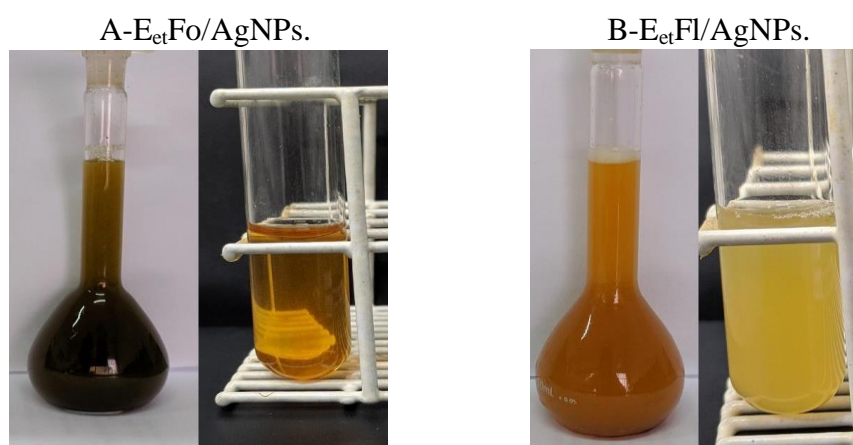
tem sido amplamente adotado como uma medida padrão para avaliar o grau de toxicidade em bioensaio (Meyer *et al.*, 1982).

Ainda, a literatura identifica diversas classes químicas de compostos tóxicos encontrados em plantas na presença de metabólitos, incluindo alcalóides, glicosídeos, saponinas, ácidos orgânicos, lecitinas, terpenos e taninos, que contribuem para a compreensão abrangente dos mecanismos de toxicidade vegetal (Barbosa *et al.*, 2007). O que corrobora com os resultados obtidos neste estudo.

5.3 Síntese de Nanopartículas de Prata (AgNPs)

O uso do extrato das folhas e flores do pequi demonstrou ser uma estratégia eficaz para a realização de síntese ambientalmente sustentável de nanopartículas. Como resultado, obteve-se uma suspensão coloidal de coloração amarela/castanha que manteve-se estável, como evidenciado na Figura 11. A ausência de aglomerações ou sedimentações significativas destaca a capacidade do extrato do pequi como agente estabilizador eficiente nesse processo de síntese verde de nanopartículas, evidenciando o potencial do pequi como fonte promissora de materiais para aplicações nanotecnológicas, alinhando-se com os princípios da sustentabilidade ambiental (Bonatto, 2016).

Figura 11 - Síntese de nanopartículas de prata (AgNPs) estabilizadas utilizando o extrato das folhas (A) e flores (B) do Pequi.



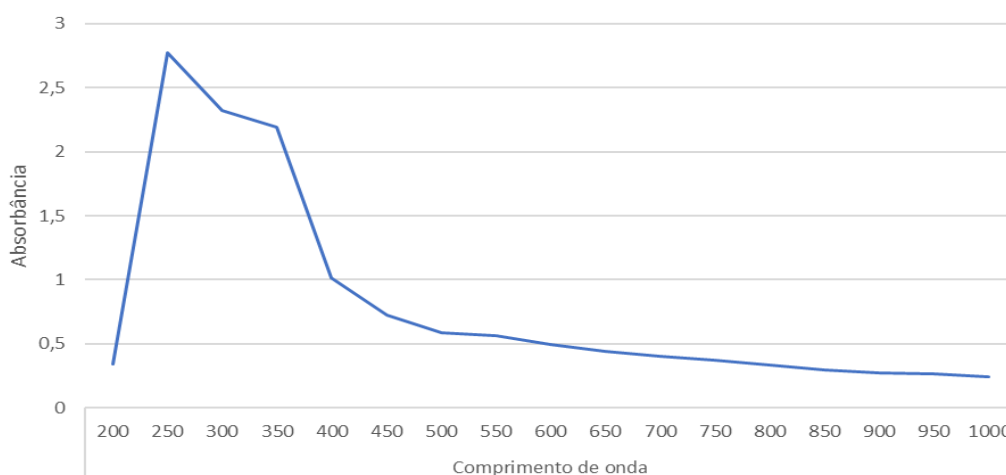
Fonte: Autoria própria, 2024.

Para as sínteses de AgNPs envolveu o uso dos extratos $E_{et}Fo$ e $E_{et}Fl$ do pequi na redução de íons prata provenientes da solução de nitrato de prata ($AgNO_3$) usado na reação. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência dos extratos do pequi como uma alternativa promissora na síntese de AgNPs, ressaltando sua capacidade multifuncional como elemento na produção de nanomateriais. A caracterização das nanopartículas formadas foi conduzida

através de espectroscopia UV-visível, um método amplamente utilizado para detecção e análise de (AgNPs).

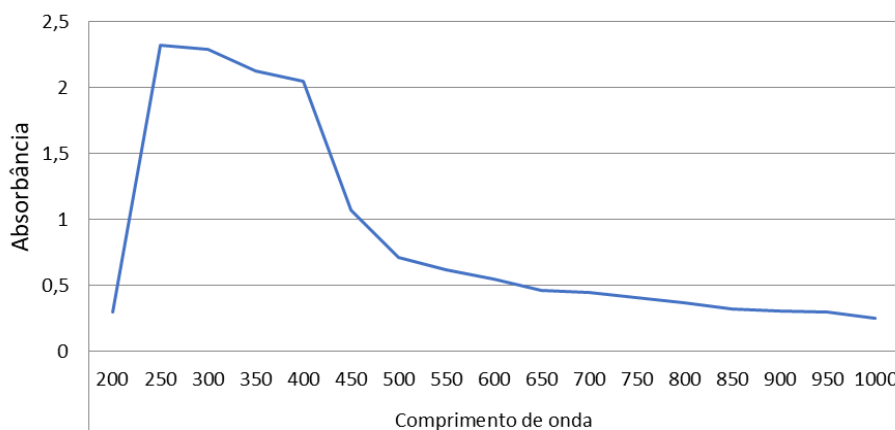
A absorção de nanopartículas de prata sintetizadas com extratos vegetais ocorre geralmente na faixa de comprimento de onda de 400 a 500 nm, quando avaliada utilizando o espectrofotômetro UV-visível (Brito; Viana; Viana, 2022). No entanto, durante a análise realizada neste estudo, foi notado uma banda na região do comprimento de onda de 200 a 500 nm (Gráfico 4 e 5) com pico em 300 nm. De acordo com Rocha (2010), o alargamento na banda de absorção pode ser atribuído à presença de nanopartículas com tamanhos diversos, apresentando “nanopartículas multi-geminadas e uma população menor de partículas esféricas”.

Gráfico 4 - Avaliação da faixa de comprimento de onda no espectro UV-Visível - Utilizando o Extrato das folhas do pequi.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Gráfico 5 - Avaliação da faixa de comprimento de onda no espectro UV-Visível - Utilizando o Extrato das flores do pequi.



Fonte: Autoria própria, 2024.

Diversos elementos devem ser levados em conta durante o processo experimental de obtenção de nanopartículas, incluindo as condições de realização do teste, exposição à luz, concentrações dos extratos vegetais e tamanhos do gotejamento da solução de AgNO_3 . Além disso, fatores como temperatura ambiente, pH do meio reacional também podem influenciar no deslocamento ou alargamento da banda, atribuída a morfologia e dispersão dessas nanopartículas para comprimentos de onda mais altos (Monteiro; Freitas, 2020; Rocha, 2010; Bonatto, 2016).

Na literatura atual, existe uma lacuna em relação a estudos sobre síntese verde utilizando extrato das flores do pequi (*Caryocar brasiliense*), com poucos deles explorando o uso das folhas. Entretanto, estudos preliminares confirmam que as nanopartículas sintetizadas exibem propriedades antimicrobianas (Souza, 2020). A capacidade de reproduzir a síntese de forma consistente, resultando na obtenção das mesmas características das nanopartículas em diferentes experimentos, configura sua importância, a garantia, confiabilidade e a aplicabilidade prática da síntese (Fernandes, 2008).

5.4 Biofilme de amido da casca de batata com nanopartículas de prata

Os biofilmes de amido da casca de batata são filmes finos compostos por amido derivado da batata, que apresentam propriedades biodegradáveis e biocompatíveis. Esses biofilmes possuem uma ampla variedade de aplicações, incluindo sua utilização em embalagens para alimentos e como revestimentos para proteção de diversas superfícies (Santos *et al.*, 2021). Em contrapartida, as nanopartículas de prata apresentam propriedades antimicrobianas, decorrentes da liberação de íons de prata, que têm ação contra diversos tipos de microorganismos (Melo, 2023). Dessa forma, as nanopartículas de prata são amplamente empregadas em produtos com propriedades antibacterianas.

Os resultados da análise da transparência dos biofilmes elaborados utilizando amido da casca de batata e incorporação de (AgNPs) estão ilustradas nas Figuras 12 e 13 (a e b). Na qual evidencia-se que os filmes contendo AgNPs das folhas (Figura 12) demonstraram uma boa resistência ao rasgo, e apesar da alteração da cor, ainda apresentou boa transparência quando comparados com os filmes de AgNPs das flores (Figura 13). Esta constatação sugere um potencial aplicação desses biofilmes, incluindo embalagens de alimentos e revestimentos industriais, além disso, “a carboximetilcelulose tem aplicação no setor farmacêutico e forma filmes transparentes e bastante hidrofílicos” (Souza, 2020, p. 26).

Figura 12 - Aspectos visuais dos biofilmes de amido da casca de batata/Glicerina /carboximetilcelulose e nanopartículas de prata (extrato das folhas).



Fonte: Autoria própria, 2024.

Observa-se nas Figuras 12 e 13 que os biofilmes com nanopartículas incorporadas apresentaram uma leve modificação na coloração, tanto nos biofilmes com as AgNPs das folhas, quanto das AgNPs das flores. Entretanto, ambas mantiveram uma aparência homogênea e com uma boa resistência ao rasgo. Esses resultados sugerem que a adição de nanopartículas de prata pode conferir propriedades antimicrobianas e antibacterianas aos biofilmes de amido da casca de batata, sem comprometer sua integridade estrutural (Santos *et al.*, 2021; Souza, 2020). O processo de incorporação das nanopartículas de prata nos biofilmes resultou em uma coloração amarela/castanha coloidal, indicando eficiência na incorporação dessas partículas. Adicionalmente, os biofilmes permaneceram suas propriedades de resistência, flexibilidade, rigidez e boa visibilidade, essa combinação de materiais oferece uma alternativa ambientalmente mais sustentável e segura em comparação com embalagens e revestimentos convencionais, frequentemente produzidos com plásticos não biodegradáveis (Santos *et al.*, 2021).

Figura 13 - Aspectos visuais dos biofilmes de amido da casca de batata/Glicerina /carboximetilcelulose e nanopartículas de prata (extrato das flores).



Fonte: Autoria própria, 2024.

A análise da taxa de absorção de água dos filmes biodegradáveis, revelou variações significativas ao longo do tempo de teste, conforme demonstrado na Tabela 5. Após 30 minutos de exposição, já se observaram variações significativas nas taxas de

intumescimento entre os diferentes tipos de biofilmes testados, indicando distintas capacidades de absorção de água. Notavelmente, com 1 hora de teste, os filmes compostos por amido, glicerina e CMC, sem a adição de nanopartículas, demonstraram mudanças mais acentuadas em suas taxas de intumescimento. Uma possível explicação é a suscetibilidade desses materiais à desintegração da matriz polimérica, resultando na liberação de líquido uma vez que a CMC apresenta a capacidade de formação de gel (Souza, 2020).

Em contrapartida, observa-se que a adição de AgNPs conferiu aos biofilmes melhoras na resistência à formação de gel, exibindo uma manutenção significativa de sua resistência estrutural, sugerindo uma possível proteção conferida pelas nanopartículas. Após 1 hora e 30 minutos, os filmes sem AgNPs sofreram desintegração, enquanto os filmes com AgNPs mostraram uma resistência prolongada, apresentando apenas sinais incipientes de solubilização após 2 horas de teste. Esses resultados destacam o potencial das nanopartículas de prata em conferir resistência à água aos biofilmes, abrindo perspectivas promissoras para sua aplicação em diversas áreas, como embalagens e materiais biodegradáveis.

Tabela 5 - Índice de absorção de água (intumescimento) dos filmes biodegradáveis feitos de amido da casca de batata, glicerina, CMC e incorporação AgNPs das folhas (a) e flores (b) do pequi.

INTUMESCIMENTO %					
AMOSTRAS	TEMPO (H)				
	Seco	30min	1h	1h30min	2h
Amido + Glicerina + CMC	0,050	470	646	ND	ND
Amido + Glicerina + CMC + AgNPs (a)	0,047	1.771	2.047	2.287	2.606
Amido + Glicerina + CMC + AgNPs (b)	0,057	668,4	803,5	921	1.132

Fonte: Autoria própria, 2024.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado sobre o pequi (*Caryocar brasiliense*) e seus extratos, utilizando as folhas e flores, destaca a sua importância na biodiversidade do cerrado brasileiro e seu potencial em diferentes aplicações, desde a gastronomia até a nanotecnologia. A triagem fitoquímica evidenciou diversas classes de metabólitos secundários, tais como saponinas, taninos, alcalóides, açúcares redutores, flavonóides, esteróides e triterpenóides. Esses compostos têm propriedades medicinais e nutricionais importantes, como diuréticas, depurativas do sangue e expectorantes, resultando em possibilidades de explorar suas capacidades para o desenvolvimento de bioprodutos ou a caracterização de suas propriedades farmacológicas. Com base nos resultados dos testes de citotoxicidade, foi observado que os extratos das folhas e flores apresentaram diferentes níveis de toxicidade. O extrato etanólico das folhas demonstrou ser tóxico, com concentração letal de igual a $154,8 \mu\text{g.mL}^{-1}$, enquanto o extrato da flor revelou uma menor toxicidade ($\text{CL}_{50} 538,9 \mu\text{g.mL}^{-1}$). Isso configura uma investigação mais profunda dos compostos presentes em cada planta, sugerindo que tais descobertas tem potencial para desenvolvimentos de futuros produtos farmacêuticos ou para indústria de cosméticos.

A síntese verde de AgNPs mostrou-se promissora, destacando-se como uma alternativa sustentável e eficaz. A caracterização das nanopartículas demonstrou uma absorção na faixa de comprimento de onda de 200 a 500 nm, sugerindo a presença de nanopartículas de diferentes tamanhos e morfologias. A incorporação dessas AgNPs em biofilmes de amido de batata revelou boas propriedades de resistência ao teste de intumescimento por mais de 2 horas, indicando seu potencial em aplicações como embalagens de alimentos e revestimentos industriais.

A síntese verde utilizando extratos vem cada vez mais ganhando destaque devido à preocupação com o impacto ambiental e à busca por processos mais ecológicos. Pois, o material vegetal caracteriza-se como agentes redutores e estabilizantes para produzir nanopartículas de prata de forma mais sustentável. Contudo, este estudo demonstrou que a espécie *C. brasiliense* tem potencialidade para o desenvolvimento de futuros trabalhos científicos, quer seja na área farmacológica, quer seja para formulações de biomateriais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, S. P. de; SILVA, J. A. da. **Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC, 1994. 38p. (EMBRAPA - CPAC. Documentos, 54), 1994.
- ANTUNES, F. S. *et al.* Síntese, caracterização e aplicação de nanopartículas de prata como agentes antimicrobianos. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 9, n. 1, p. 20-6, Rio Grande do Sul, 2013.
- ARAÚJO, K. T. A.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Efeito da germinação nas propriedades nutricionais de sementes de quatro variedades de melão. **Ciência Rural**, v. 54, p. e20220307, 2023.
- BALEST, A. P. **Caracterização e estudo de estabilidade de suspensões de nanocápsulas poliméricas contendo óleo de pequi (*Caryocar brasiliense Camb*)**. 2013. 58 f., il. Monografia (Bacharelado em Farmácia) - Universidade de Brasília, Ceilândia-DF, 2013.
- BARBOSA, R. R. *et al.* Plantas tóxicas de interesse pecuário: importância e formas de estudo. **Acta Veterinária Brasília**, v. 1, n. 1, p. 1-7, 2007.
- BARBOSA, W. *et al.* Manual para análise fitoquímica e cromatográfica de extratos vegetais. **Revista Científica da UFPA**, Pará, v. 4, p. 12–18, 2004.
- BERNARDI, D. **Características Vegeto Produtivas e propriedades nutraceuticas em Pêssego ‘Brs-Libra’ Sob diferentes porta-enxertos**. Erichim, 2022.
- BEYENE, H. D. *et al.* Synthesis paradigm and applications of silver nanoparticles (AgNPs). A review: **Sustainable materials and Technologies**, [s.l.], v. 13, p. 18-23, 2017.
- BONATTO, C. C. **Desenvolvimento e avaliação de atividades biológicas *in vitro* e *in vivo* de micro- e nanopartículas de prata obtidas por síntese verde utilizando plantas do Cerrado**. 2016. 227 f., il. Tese (Doutorado em Biologia Animal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- BORGES, J. C. De. A. **Características botânicas, aspectos nutricionais e efeitos terapêuticos do pequi (*Caryocar brasiliense*) - Revisão da Literatura [seminários-Portal UFG]**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, Escola de Veterinária e Zootecnia, 2011.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Diretoria do Programa Nacional de Conservação da Biodiversidade - DCBio. **Quarto Relatório Nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010.
- BRITO, J. E. de.; VIANA, D. dos S. F.; VIANA, V. G. F. Síntese verde e caracterização de nanopartículas de prata AgNp estabilizadas em extrato de jurema preta (*Mimosa tenuiflora*). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 11, n. 6, p. e21611629051, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.29051. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/29051>. Acesso em: 5 fev. 2024.

CARDOSO, F. M. **O uso da fitoterapia na doença de Alzheimer: um estudo de correlação dos extratos das folhas do *Caryocar coriaceum***: análise fitoquímica, atividade antioxidante e toxicidade. 2021. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2021.

CARVALHO, L. S. de.; PEREIRA, K. F.; ARAÚJO, E. G. de. Características botânicas, efeitos terapêuticos e princípios ativos presentes no pequi (*Caryocar brasiliense*). **Arquivos de Ciências da Saúde da UNIPAR**, Umuarama, v. 19, n. 2, p. 147-157, 2015.

CRUZ, J. E. R. da. *et al.* Composição de fenólicos, flavonoides, antocianinas, determinação da atividade antioxidante e comparação de métodos extrativos da folha e da casca de *Caryocar brasiliense*. **Revista de Ciências Médicas e Biológicas**, [s. l.], v. 21, n. 1, p. 18–24, 2022. DOI: 10.9771/cmbio.v21i1.44970. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/cmbio/article/view/44970>. Acesso em: 2 fev. 2024.

COSTA, G. V. da. **Atividade antibacteriana, antioxidante e citotóxica *in vitro* do extrato etanólico da entrecasca da planta *Ouratea hexasperma* (EEE₂OH) (A. St-Hil.) Baill var. *Planchonii* Engl.** 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Saúde, Belém, 2015.

DIAS, D. V. S. *et al.* Síntese verde de nanopartículas de prata utilizando extrato metanólico de *Podocarpus lambertii* Klotzch ex Endl. **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 7, n. 4, p. 42062-42072, 2021.

DUAVY, S. M. P. *et al.* Atividade biológica de extratos de folhas de *Caryocar coriaceum* Wittm.: Estudo *in vitro*. **Cadernos de Cultura e Ciência**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 13-19, 2012.

ESPINOZA, F. R. Uso Da *Artemia Salina* Como Bioindicador Na Avaliação Ecotoxicológica Do Fármaco Cloridrato De Ciprofloxacina Em Solução Sintética Tratada Por Processo De Eletrocoagulação. **IBES Instituto Brasileiros de Estudos Ambientais**, p. 1–5, 2015.

FERNANDES, R. C. **Diversidade e estrutura genética em populações naturais de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) no norte de Minas Gerais**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008.

FIGUEIREDO, L. H. M.; SCARIOT, A.; VASCONCELLOS, A. G. Monitoramento tecnológico de uma importante espécie do Cerrado: *Caryocar brasiliense*. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 11-35, 2017.

OLIVEIRA FILHO, J. F. de. *et al.* Avaliação antimicrobiana do extrato etanólico da polpa de pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.) Contra microrganismos patogênicos. **Revista Tocantinense de Geografia**, [s.l.], v. 12, n. 27, p. 161–177, 2023. DOI: 10.20873/rtg.v12i27.15734. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/15734>. Acesso em: 6 fev. 2024.

GRAÇA, R. R. ***Licaria puchury-major* (MART.) kosterm**: biossíntese de nanopartículas de prata dos extratos vegetais com atividade antimicrobiana. 2015. 117f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

JESUS, I. A. De. **Aspectos históricos, nutricionais e gastronômicos do pequi (*Caryocar brasiliense camb.*)**. Salvador, 2014.

LIMA, A. de. **Caracterização química, avaliação da atividade antioxidante *in vitro* e *in vivo*, e identificação dos compostos fenólicos presentes no Pequi (*Caryocar brasiliense, Camb.*)**. Universidade de São Paulo, 2008.

LIMA, N. F. **Desenvolvimento de celulose bacteriana: otimização do processo e avaliação das propriedades físico-químicas**. 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

LOPES, T. da C. *et al.* **Avaliação Moluscicida e perfil fitoquímico das folhas de *Caryocar brasiliense camb.*** Cadernos de Pesquisa, São Luís, v. 18, n. 3, 2011. Disponível em: <https://cajapio.ufma.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/641>. Acesso em: 2 fev. 2024.

LÓPEZ-SÁNCHEZ, C. *et al.* Las saponinas y su uso farmacéutico. **Revista Del Centro de Graduados e Investigación. Instituto Tecnológico de Mérida**, [s.l.], v. 37, 2022.

MACHADO, K. Z. **Avaliação da toxicidade de plantas ornamentais frente ao teste com *Artemia salina* Leach**. Florianópolis, SC, 2003.

MARQUES, M. C. S. **Estudo fitoquímico e biológico dos extratos de pequi (*Caryocar brasiliense Camb.*)**. Lavras: UFLA, 2001.

MELO, P. M. S. de. **Produção e caracterização de biofilmes de *Aloe vera in natura***. Orientador: Luciani Paola Rocha Cruz Barros. 2023. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2023.

MELO, W. D. de. **Revisão de aspectos produtivos e de importância socioambiental de pequi (*Caryocar sp.*)**. 2021.31f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2021.

MEYER, B. N. *et al.* Brineshrimp: a convenient general bioassay for active plant constituents. **Planta médica**, New York, v. 45, n. 5, p. 31-34, 1982.

MONTEIRO, E. P.; FREITAS, L. de A. Identificação de antocianinas em frutas da região amazônica: Um indicador natural usado como recurso didático para o ensino de química. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 86590–86600, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n11-178. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/19617>. Acesso em: 6 fev. 2024.

NASCIMENTO, T. F. **Avaliação de atividades biológicas de extratos das flores de *Caryocar Brasiliense Camb.* (Pequi)**. Grajaú-MA, 2020.

OLIVEIRA, M. E. B. de. *et al.* **Aspectos agronômicos e de qualidade do pequi**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

OLIVEIRA, W. L. de; SCARIOT, A. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável do Pequi**. Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2010.

QUEIROZ, L. P. de.; RAPINI, A.; GIULIETTI, A. M. **Rumo ao Amplo Conhecimento da Biodiversidade do Semi-árido Brasileiro**. Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), 2006.

REZENDE, A. L.; CAIXETA, M.; QUEIROZ, V. Análise Morfológica dos frutos de interesse agrônômico no cerrado de Luziânia, Goiás. (Agronomia). **Repositório Institucional**, [s.l.], v. 1, n. 1, Goiás, 2023.

ROCHA, R. R. **Química verde: síntese de nanopartículas de prata utilizando extratos vegetais**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemática Departamento de Química, 2010.

SANDINI, T. M.; BERTO, M. S. U.; SPINOSA, H. de S. *Senecio brasiliensis* e alcalóides pirrolizidínicos: toxicidade em animais e na saúde humana. **Biotemas**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 83-92, 2013.

SANTOS, A. P. M; GALINDO, A. S.; QUEIROZ, E. de S. Propriedades Neuropsicofarmacológicas, compostos quimicamente ativos e uso medicinal da passiflora incarnata **Brazilian Journal of Development**, [s.l.], v. 6, n. 12, p. 94823–94836, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n12-098. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/21060>. Acesso em: 2 fev. 2024.

SANTOS, G. L. dos.; GEMMER, R. Z.; OLIVEIRA, E. C. Análise de açúcares totais, redutores e não-redutores em refrigerantes pelo método titulométrico de eynon-lane. **Revista: Destaques Acadêmicos**, Lajeado, v. 8, n. 4, p. 186-197, 2016.

SANTOS, V. S. *et al.* Avaliação e caracterização de biofilme comestível de carboximetilcelulose contendo nanopartículas de quitosana e *Cúrcuma* longa. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 26, n.1, p. e12926, 2021.

SARAIVA, L. C. F. *et al.* Triagem fitoquímica das folhas de Moringa oleifera. **Boletim Informativo Geum**, [s.l.], v. 9, n. 2, p. 12, 2018.

SARTORI, C. J.; CASTRO, A. H. F.; MORI, F. A. Teores de fenóis totais e taninos nas cascas de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*). **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 21, p. 394-400, 2014.

SILVA, L. J. S. da.; LIMA, L. A.; CAVALLI, E. **A cultura do pequi e sua importância socioeconômica para a agricultura familiar**. Mato Grosso de Guarantã do Norte-MT, 2019.

SILVA, J. N. **Avaliação *in silico* de flavonoides da *Passiflora incarnata* L. com potencial ansiolítico e antidepressivo**. Areia: UFPB/CCA, 2023.

SILVA, R. R. A *et al.* **Avaliação da toxicidade de plantas por meio do bioensaio com *Artemia Salina***. 69ª Reunião Anual da SBPC – UFMG, Belo Horizonte, 2017.

SILVA, N. L. A da.; MIRANDA, F. A. A.; CONCEIÇÃO, G. M da. Triagem Fitoquímica de Plantas de Cerrado, da Área de Proteção Ambiental Municipal do Inhamum, Caxias, Maranhão. **Scientia Plena**, [s.l], v. 6, n. 2, 2010. Disponível em: <https://scientiaplena.emnuvens.com.br/sp/article/view/22>. Acesso em: 7 fev. 2024.

SOUZA, V. S. R. de. **Obtenção de filmes a partir do Mesocarpo de Babaçu (*Orbignya sp*) Despigmentação para Aplicação de Biotecnológicas**. Grajaú - MA, 2020.

TRAESEL, G. K. **Toxicidade pré-clínica do óleo do pequi (*Caryocar brasiliense Cambess*): avaliação dos efeitos agudos, subcrônicos, genotóxicos e teratogênicos em ratos Wistar**. 2017. 107 f. Tese (Doutorado em Ciências da Saúde) – Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2017.

VIANA, L. N. **Estudo fitoquímico e avaliação da atividade antioxidante e biológica da espécie *Sparattosperma leucanthum* (VELL.) Schum.** Monografia-Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2015.