

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

HENRIQUE SANTOS XAVIER BION

ESTUDO QUÍMICO, ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANO DA MADEIRA DE
Averrhoa carambola L.

Recife

2025

HENRIQUE SANTOS XAVIER BION

ESTUDO QUÍMICO, ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANO DA MADEIRA DE
Averrhoa carambola L.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em biologia.

Orientadora: Andréa Lopes Bandeira Delmiro Santana

Recife
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Bion, Henrique Santos Xavier.

Estudo Químico, Antioxidante e Antifúngico da madeira da Averrhoa
carambola L. / Henrique Santos Xavier Bion. - Recife, 2025.
49p : il., tab.

Orientador(a): Andréa Lopes Bandeira Delmiro Santana
(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências,
, 2025.

1. Madeira. 2. Metabólitos secundários. 3. Atividade biológica. 4.
Resistência natural. 5. Averrhoa carambola L.. I. Santana, Andréa Lopes
Bandeira Delmiro. (Orientação). II. Título.

570 CDD (22.ed.)

HENRIQUE SANTOS XAVIER BION

ESTUDO QUÍMICO, ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANO DA MADEIRA DA
***Averrhoa carambola* L.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em biologia.

Aprovado em: 25/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andréa Lopes Bandeira Delmiro Santana
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Rosana Casoti
Universidade Federal de Pernambuco

Me. Gabriel Barboza da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Andréa, por ter aceitado me orientar e ter me acolhido no laboratório, pelos ensinamentos e pela paciência. Agradeço também a Carlos, por toda ajuda que ele prestou e a paciência de me ensinar; a professora Márcia, pela oportunidade de fazer parte do LQPN; e a todos os integrantes do LQPN, por terem me recebido com muito carinho

Agradeço aos meus amigos de graduação, que sempre estiveram ao meu lado apoiando e ajudando em tudo, especialmente Evelyn, Jailene e Jamille. Obrigado por todos os momentos bons, de amizade, risadas, carinho, e por todos os momentos de dificuldades que vocês estiveram ao meu lado.

Agradeço aos meus pais, sei que sem eles não teria chegado até aqui. Agradeço à minha irmã Milena, por ter ouvido todas as minhas reclamações e frustrações durante esse período, e aos meus avós pela torcida. Por fim, agradeço a mim mesmo que apesar das dificuldades, nunca pensei em desistir nem por um segundo.

RESUMO

A madeira da *Averrhoa carambola* L., espécie frutífera amplamente cultivada no Brasil, foi analisada quanto à presença de compostos fenólicos e às suas atividades antioxidante e antifúngica. Foram realizados testes fitoquímicos para detecção de alcaloides, taninos, flavonoides, saponinas, terpenos e esteroides, além da quantificação de compostos fenólicos, taninos e flavonoides, por meio de testes com Folin-ciocalteu, complexação de alumínio e Folin + caseína. A atividade antioxidante foi avaliada pelos métodos DPPH e ABTS⁺, e a atividade antifúngica foi testada frente ao fungo *Phanerochaete chrysosporium*, que faz parte do grupo de fungos da podridão branca da madeira. Os resultados revelaram a presença de taninos, flavonoides, esteroides e terpenos, com teores expressivos de fenólicos totais ($75,47 \pm 4,69$ mg EAT/g), taninos ($21,15 \pm 2,63$ mg EAT/g) e flavonoides ($15,41 \pm 0,84$ mg ER/g). O extrato etanólico apresentou atividade antioxidante significativa, com $54,14 \pm 2,56\%$ (DPPH) e $73,93 \pm 0,87\%$ (ABTS) de inibição dos radicais livres. No ensaio antifúngico, observou-se inibição progressiva do crescimento micelial, com até 87,01% de inibição na maior concentração testada, que foi de 5,0 mg/mL. A caracterização química por CLAE-EMAR permitiu identificar compostos fenólicos como ácido gálico, ácido protocatequico, ácido ferúlico e luteolina. Esses achados demonstram o potencial bioativo da madeira da *A. carambola*, indicando possíveis aplicações na área farmacêutica, no controle microbiológico e na conservação de madeira, além de reforçar a relevância do aproveitamento de tecidos vegetais não convencionais.

Palavras-chave: compostos fenólicos. *Averrhoa carambola*. atividade biológica. metabólitos secundários.

ABSTRACT

The wood of *Averrhoa carambola* L., a fruit species widely cultivated in Brazil, was analyzed for the presence of phenolic compounds and its antioxidant and antifungal activities. Phytochemical tests were performed to detect alkaloids, tannins, flavonoids, saponins, terpenes, and steroids, as well as the quantification of phenolic compounds, tannins, and flavonoids through Folin-Ciocalteu, aluminum complexation, and Folin + casein assays. The antioxidant activity was evaluated by DPPH and ABTS+ methods, and the antifungal activity was tested against the fungus *Phanerochaete chrysosporium*, which belongs to the group of white rot fungi. The results revealed the presence of tannins, flavonoids, steroids, and terpenes, with significant amounts of total phenolics (75.47 ± 4.69 mg GAE/g), tannins (21.15 ± 2.63 mg GAE/g), and flavonoids (15.41 ± 0.84 mg QE/g). The ethanolic extract showed significant antioxidant activity, with $54.14 \pm 2.56\%$ (DPPH) and $73.93 \pm 0.87\%$ (ABTS) inhibition of free radicals. In the antifungal assay, progressive inhibition of mycelial growth was observed, with up to 87.01% inhibition at the highest concentration tested, which was 5.0 mg/mL. Chemical characterization by HPLC-ESI-MS identified phenolic compounds such as gallic acid, protocatechuic acid, ferulic acid, and luteolin. These findings demonstrate the bioactive potential of *A. carambola* wood, indicating possible applications in the pharmaceutical field, microbiological control, and wood preservation, as well as reinforcing the relevance of utilizing unconventional plant tissues.

Keywords: phenolic compounds. *Averrhoa carambola*. biological activity. secondary metabolites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Estrutura da celulose	14
Figura 2	Principais precursores da lignina	15
Figura 3	Estrutura da cafeína	17
Figura 4	Estrutura do Limoneno	18
Figura 5	Estrutura básica dos flavonoides	19
Figura 6	Estrutura do Ácido Oleanólico	20
Figura 7	Estrutura do ácido gálico	21
Figura 8	<i>Averrhoa carambola</i> L.	23
Figura 9	Fruto de <i>Averrhoa carambola</i> L.	24
Figura 10	Recortes longitudinais no fruto de <i>A. carambola</i> L.	24
Figura 11	Flor da <i>A. carambola</i> L.	25
Figura 12	Curva de calibração do padrão ácido tânico	32
Figura 13	Curva de calibração do padrão rutina	33
Figura 14	Comparação entre o extrato etanólico e o ácido ascórbico	36
Figura 15	Crescimento de <i>Phanerochaete chrysosporium</i> em meio ágar batata dextrose (BDA) contendo diferentes concentrações do extrato etanólico da madeira de <i>Averrhoa carambola</i>	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de metabólitos secundários identificados em <i>Averrhoa carambola</i> L.	31
Tabela 2	Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides	32
Tabela 3	Compostos fenólicos detectados na amostra analisada	34
Tabela 4	Comparação do extrato etanólico de <i>A. carambola</i> com ácido ascórbico	36
Tabela 5	Taxa de inibição do crescimento de <i>Phanerochaete chrysosporium</i> por diferentes concentrações do extrato etanólico da madeira de <i>Averrhoa carambola</i>	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivos Gerais	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 Madeira.....	13
3.2 Metabólitos secundários	15
3.2.1 Alcaloides	16
3.2.2 Terpenos e esteroides.....	17
3.2.3 Flavonoides	18
3.2.4 Saponinas.....	19
3.2.5 Taninos.....	20
3.3 Resistência natural	21
3.4 Pesticidas tóxicos	22
3.5 Averrhoa carambola L.....	23
4. METODOLOGIA	26
4.1 Coleta do material vegetal	26
4.2 Preparação dos extrativos	26
4.3 Testes fitoquímicos	26
4.3.1 Determinação de Alcalóides.....	27
4.3.2 Determinação de Esteroides e Terpenos	27
4.3.3 Determinação de Flavonoides	27
4.3.4 Determinação de Saponinas	27
4.3.5 Determinação de Taninos.....	28
4.4 Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides.....	28
4.4.1 Fenólicos totais.....	28
4.4.2 Taninos.....	28
4.4.3 Flavonoides	29
4.5 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Espectrometria de Massas de alta resolução (CLAE-EMAR)	29
4.6 Atividade antioxidante	30
4.6.1 DPPH•	30
4.6.2 ABTS•+.....	31
4.7 Teste de atividade antifúngica	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 Testes fitoquímicos	32
5.2 Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides.....	32
5.3 Caracterização de compostos fenólicos	34

5.4 Atividade antioxidante	36
5.5 Teste de atividade antifúngica	37
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

A *Averrhoa carambola* L., pertencente à família Oxalidaceae, é uma árvore frutífera originária do sudeste asiático, abrangendo a região da Malásia até a Indonésia. Inicialmente cultivada em outros países asiáticos, a espécie foi posteriormente introduzida na África e nas Américas, estando atualmente amplamente distribuída e cultivada em diversas regiões do mundo, incluindo todo o território brasileiro (Teixeira *et al.*, 2001; Gol *et al.*, 2015). A planta pode atingir até 10 metros de altura, com caule tortuoso e numerosos ramos flexíveis. Seus frutos, com formato elipsoide e comprimento variando entre 6 e 15 cm, são caracterizados pelo sabor agri-doce (Lennox; Ragoonath, 1990; Ferreira Jorge *et al.*, 2005; Dasgupta; Hazra; Panda, 2013).

Seus diferentes tecidos, como a madeira, apresentam características estruturais e funcionais que merecem destaque, uma vez que a madeira exerce funções essenciais na planta, como a sustentação da copa, condução de nutrientes e armazenamento de substâncias de reserva, como carboidratos (Klock *et al.*, 2005). Sua composição é predominantemente formada por celulose, hemicelulose, lignina e metabólitos secundários, estando organizada em células com paredes celulares espessas, cujas características morfológicas variam conforme a espécie (Rowell, 2005; Ziech, 2008).

Além da função estrutural, a madeira pode ser uma importante fonte de compostos bioativos, como os metabólitos primários e secundários. Os metabólitos primários estão diretamente relacionados aos processos vitais de crescimento e desenvolvimento, sendo comuns entre as diversas espécies vegetais e compreendendo moléculas como carboidratos, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (García; Carril, 2009; Rezende *et al.*, 2016). Já os metabólitos secundários, geralmente derivados de rotas metabólicas associadas à fotossíntese, desempenham funções adaptativas, conferindo proteção contra herbivoria, radiação ultravioleta, poluentes e outros estresses ambientais. Diferentemente dos primários, esses compostos apresentam grande diversidade entre famílias, gêneros e espécies (Rezende *et al.*, 2016).

Entre as diversas classes de metabólitos secundários, destacam-se aqueles com propriedades antioxidantes, amplamente estudados pela sua relevância

biológica. Compostos fenólicos, flavonoides e outros antioxidantes naturais presentes em tecidos vegetais, como a madeira, são capazes de neutralizar radicais livres e espécies reativas de oxigênio, que estão associados a processos degenerativos e inflamatórios em organismos vivos (Gülçin, 2025). A avaliação da atividade antioxidante, por meio de métodos como o DPPH[·] e o ABTS^{·+}, permite identificar substâncias com capacidade de reduzir o estresse oxidativo, o que amplia as possibilidades de aplicação desses compostos tanto na área farmacêutica quanto em produtos com potencial antimicrobiano e conservante (Rumpf; Burguer; Schulze, 2023).

Paralelamente à busca por compostos com atividade antioxidante, cresce o interesse por suas aplicações em contextos ambientalmente críticos, como a substituição de pesticidas sintéticos. Atualmente, estima-se que mais de 3 bilhões de quilos de pesticidas sejam aplicados anualmente em escala global (Pimentel, 2005). Embora economicamente vantajosos para a agricultura, esses compostos químicos têm gerado preocupações crescentes devido aos seus efeitos adversos sobre a saúde pública e o meio ambiente (Basso; Siqueira; Richards, 2021). Desde 2021, o Brasil é o maior consumidor mundial de agrotóxicos, superando juntos os Estados Unidos e a China, com aproximadamente 720 mil toneladas aplicadas em lavouras neste ano (Rio times Brasil, 2023). Em termos de intensidade, isso representa cerca de 10,9 kg por hectare, frente a 2,85 kg/ha nos EUA e 1,9 kg/ha na China (Perobelli, 2025).

Diante dos impactos ambientais e dos riscos à saúde associados ao uso intensivo de pesticidas sintéticos, cresce o interesse por alternativas naturais e sustentáveis de controle microbiológico. Muitos pesticidas comerciais apresentam alta toxicidade, podendo contaminar o solo e a água, afetar organismos não-alvo e favorecer o surgimento de resistência em microrganismos (Pimentel, 2005). Nesse cenário, compostos bioativos de origem vegetal, como os metabólitos secundários presentes em madeiras, surgem como promissoras alternativas.

Assim, o estudo da composição química e das atividades antifúngica e antioxidante da madeira de *Averrhoa carambola* não apenas amplia o conhecimento científico sobre a espécie, como também pode subsidiar o desenvolvimento de novos produtos naturais com menor impacto ambiental e riscos reduzidos à saúde humana, além de possíveis usos biotecnológicos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Este trabalho teve como objetivo realizar um estudo químico da madeira de *Averrhoa carambola* L., com ênfase na identificação de compostos fenólicos e na avaliação de suas atividades antimicrobiana e antioxidante.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as principais classes de metabólitos secundários presentes no extrativo;
- Determinar o teor de fenóis totais, taninos e flavonoides;
- Caracterizar os compostos fenólicos presentes no extrativo por CLAE-EMAR
- Avaliar o potencial antioxidante do extrativo;
- Determinar a sensibilidade das cepas de *Phanerochaete chrysosporium* mediante o extrativo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Madeira

As madeiras possuem tecidos constituídos por células de paredes celulares espessas, com forma e tamanho variável de acordo com a espécie (Fengel; Wegener, 1989; Rowell, 2005). Podem ser divididas em dois grupos, madeiras “moles” (*softwoods*), encontrada em gimnospermas, como nas coníferas; e madeiras “duras” (*hardwoods*) presente nas angiospermas (Rowell, 2005). A madeira é constituída aproximadamente de 40 a 50% de celulose, 20 a 35% de hemicelulose, 15 a 35% de lignina, além de componentes secundários (Ziech, 2008). No entanto, a proporção entre esses componentes presentes na parede celular, pode variar dependendo da espécie vegetal, além de variar de camada para camada (Rowell, 2005).

A celulose (Figura 1) é o principal componente da parede celular das plantas, sendo responsável por conferir rigidez e resistência estrutural. Trata-se de um polissacarídeo constituído por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas $\beta(1\rightarrow4)$, formadas por meio da eliminação de moléculas de água durante o processo de síntese (Fengel; Wegener, 1989).

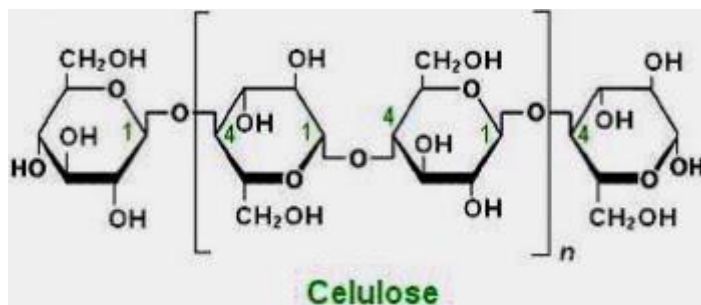


Figura 1: Estrutura da celulose

Fonte: Magalhães (s.d.).

A hemicelulose é um polissacarídeo constituído por pentoses, como xilose e arabinose e/ou hexoses, como glicose, manose e galactose; ácidos urônicos e grupos acetila (Fengel; Wegener, 1989). O termo hemicelulose não designa um composto químico, mas um grupo de componentes presentes nas plantas, e as proporções desses diferentes componentes variam de acordo com a espécie e de árvore para árvore (Philipp; D'almeida, 1988).

A lignina é uma macromolécula complexa, constituída por um polímero tridimensional com ligações cruzadas, formado principalmente por unidades básicas de fenilpropanóides — como os álcoois: coniferílico (1), sinapílico (2) e *p*-coumarílico (3) (Figura 2) — que, após polimerização, originam os monômeros guaiacila (G), siringila (S) e *p* hidroxifenila (H), respectivamente. Ela desempenha um papel fundamental na resistência mecânica das madeiras, além de atuar no suporte estrutural e na facilitação da dispersão de metabólitos excretados pelas células (Wardrop, 1971). A quantidade de lignina pode variar entre diferentes tipos de madeira: em coníferas, seu teor pode atingir até 35% da composição, enquanto em madeira de angiospermas geralmente não ultrapassa 25% (Rowell, 2005).

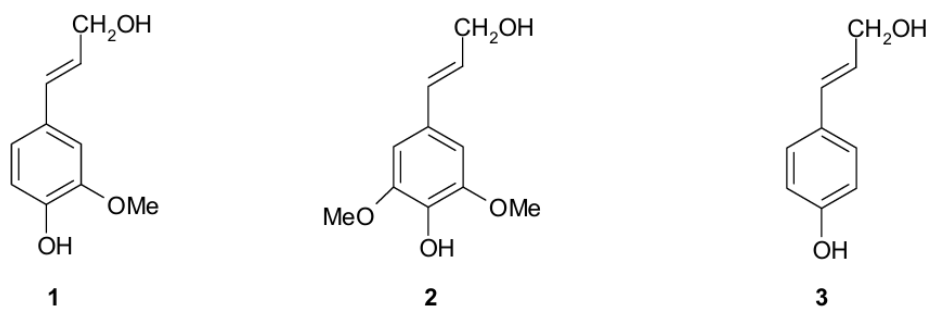


Figura 2: Principais precursores da lignina

Fonte: Santana (2011)

Os extrativos são metabólitos secundários não estruturais presentes na madeira, localizados principalmente na casca, mas também encontrados no cerne e em menor quantidade no alburno. São definidos por sua solubilidade em água e em solventes orgânicos neutros, como etanol, metanol, acetato de etila, diclorometano, dentre outros (Philipp; D'Almeida, 1988; Rowell *et al.*, 2005). Quimicamente, englobam uma ampla diversidade de classes, incluindo lipídios (gorduras, ceras), ácidos orgânicos, álcoois, compostos fenólicos, terpenos, alcaloides, esteróis, além de outros compostos orgânicos de menor abundância (Fengel; Wegener, 1989; Rowell, 2005).

Embora representem uma fração quantitativamente menor em relação aos componentes estruturais da madeira (celulose, hemicelulose e lignina), os metabólitos secundários desempenham papéis importantes na defesa da planta contra microrganismos, insetos e estresses ambientais, além de conferirem propriedades organolépticas e tecnológicas à madeira.

3.2 Metabólitos secundários

As plantas geram uma variedade de compostos químicos que podem ser divididos em metabólitos primários e secundários. Os metabólitos primários são aqueles essenciais para os processos vitais da planta, como seu crescimento e desenvolvimento. Entre eles estão os açúcares, aminoácidos, ácidos graxos, lipídeos e nucleotídeos, bem como substâncias mais complexas formadas a partir desses compostos, como proteínas, polissacarídeos, membranas celulares, além de DNA e

RNA. Esses compostos são fundamentais para a manutenção e funcionamento das células vegetais (García; Carril, 2009).

Os metabólitos secundários, também chamados de metabólitos especializados, diferem dos primários por serem compostos específicos de determinados grupos taxonômicos, derivados do metabolismo primário, que desempenham funções cruciais para o sucesso evolutivo das plantas, mediando interações ecológicas com outros organismos, como herbívoros, patógenos e polinizadores (Wink, 2003; Pichersky; Lewinsohn, 2011). Geralmente, esses compostos se enquadram em três principais categorias: terpenos, compostos fenólicos e nitrogenados. Estão frequentemente associados à proteção das plantas contra estresses bióticos, por predadores e patógenos, e abióticos, por variações climáticas e poluentes (Borges; Amorim, 2020). Além disso, muitos desses metabólitos possuem grande valor comercial, sendo utilizados nas indústrias biofarmacêutica, de corantes e de aromas (Raskin *et al.*, 2002).

3.2.1 Alcaloides

Os alcaloides verdadeiros são compostos orgânicos cíclicos que contêm nitrogênio em estado de oxidação reduzido (Figura 3) e apresentam distribuição limitada entre os seres vivos (Pelletier, 2001). Com mais de 4.000 compostos descritos, os alcaloides correspondem a aproximadamente 15% a 20% dos produtos naturais conhecidos e são classificados em diversos grupos, como os alcaloides tropânicos, quinolínicos, piperidínicos, entre outros. Dentre esses, os alcaloides indólicos destacam-se pela grande diversidade estrutural e pelas amplas propriedades farmacológicas (Verpoorte, 1986; Cordell; Quinn-Beattie; Farnsworth, 2001).

Essa classe química é altamente heterogênea e frequentemente apresenta elevada toxicidade (Ren *et al.*, 2022). Contudo, devido à sua potente atividade biológica, os alcaloides constituem uma das principais fontes de fitofármacos (Qiu *et al.*, 2014). Além disso, desempenham diversas funções nas plantas, incluindo a proteção contra insetos e herbívoros, a regulação do crescimento, o armazenamento de nitrogênio, o bloqueio metabólico para detoxificação e outras funções essenciais ao desenvolvimento vegetal (Yasawardene *et al.*, 2020).

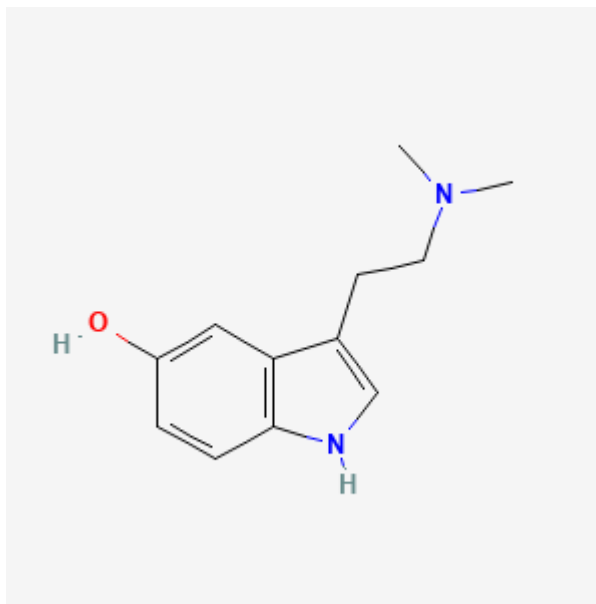


Figura 3: Estrutura da bufotenina

Fonte: PUBCHEM (2025)

3.2.2 Terpenos e esteroides

Os terpenos e esteroides representam o maior grupo de compostos orgânicos naturais conhecidos, com mais de 80.000 terpenóides identificados até 2017 (Christianson, 2017). Eles são formados a partir de unidades básicas de cinco átomos de carbono (isoprenoides) e sua classificação depende do número dessas unidades: monoterpenos (C10)(Figura 4), sesquiterpenos (C15), diterpenos (C20) , sesterterpenos (C25), triterpenos (C30) e tetraterpenos (C40) (Wang; Tang; Bidigare, 2005).

Além de desempenharem papéis fundamentais para a sobrevivência das plantas, esses compostos têm ampla aplicação nas indústrias de alimentos, biocombustíveis, fármacos e fragrâncias (Meylemans; Quintana; Harvey, 2012; Li; Fabiano-Tixier; Chemat, 2014; Mewalal *et al.*, 2017; Tetali, 2019). Os terpenos, em particular, são valorizados por seu uso em cosméticos, perfumes, aromatizantes, especiarias e aditivos alimentares (Bell; Dodd, 2020; Kumar; Kumar, 2022). Ademais, os terpenoides bioativos exibem diversas atividades terapêuticas, incluindo propriedades anti-inflamatórias, antifúngicas, antibacterianas, antioxidantes, antiagregantes, anticoagulantes, antitumorais, antiespasmódicas e analgésicas (Wang; Tang; Bidigare, 2005; Heras *et al.*, 2003; Santos, 2011).

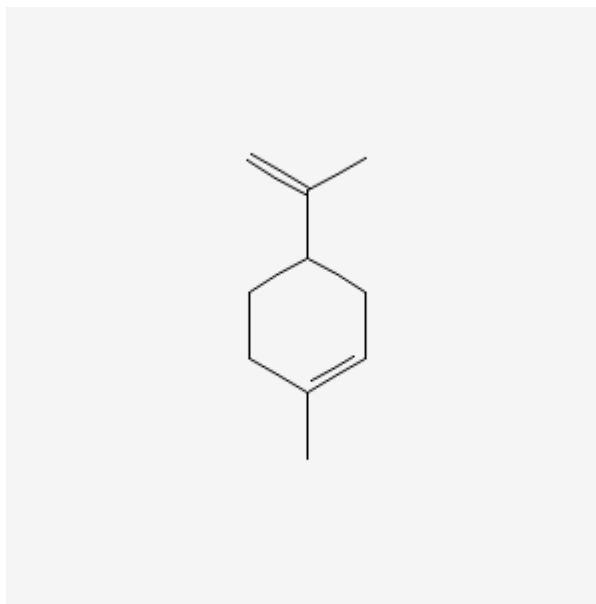


Figura 4: Estrutura do Limoneno (monoterpeno)

Fonte: PUBCHEM (2025)

3.2.3 Flavonoides

Os flavonoides formam um grupo muito importante e diversificado entre os produtos originados em plantas, além de serem amplamente distribuídos. Seu esqueleto básico possui 15 átomos de carbonos, distribuídos em dois anéis aromáticos (anéis A e B) ligados por uma cadeia de 3 carbonos que pode ser aberta ou heterocíclica (Figura 5). Presentes em abundância nas angiospermas, mas já foram encontrados em briófitas e pteridófitas (Simões *et al.*, 2000). Mais de 2.000 flavonoides foram descobertos até agora, e seu nome “flavonoide” deriva do latim “flavus” que significa amarelo (Ramadan *et al.*, 2020). A produção e o metabolismo desses compostos podem ser influenciados por fatores como a radiação solar, raios UV, períodos de seca e chuva, nutrientes disponíveis, as estações do ano e a poluição (Catherine; Parker, 2003; Degáspari; Waszczynskyj, 2004).

Entre as funções dos flavonoides nas plantas estão proteção contra microrganismos, proteção contra raios UV, ação antioxidante, ação alelopática e inibição enzimática (Simões *et al.*, 2000; Harbone; Williams, 2000; Hein; Tagliaferro; Bobilya, 2002). Além disso, possuem atividade anti-inflamatória, antialérgica, antitrombótica, vaso protetora e protegem a mucosa gástrica (Ramadan *et al.*, 2020).

A atividade antioxidante dos flavonoides é relacionada a presença do grupo hidroxila (OH-), que doa o cátion hidrogênio para os radicais livres (Moresco *et al.*, 2012).

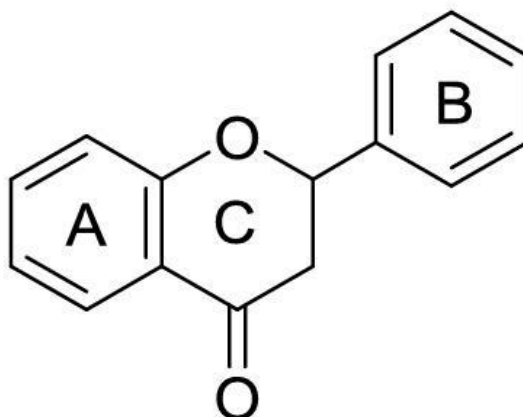


Figura 5: Estrutura básica dos flavonoides

Fonte: Santos; Rodrigues (2017)

3.2.4 Saponinas

As saponinas são um grupo de metabólitos secundários encontrados em várias plantas. São moléculas polares, constituídas por uma parte hidrofóbica, aglicona que pode ter uma estrutura esteroidal ou triterpenoide, e uma parte hidrofílica formada por uma ou mais cadeias de açúcar (El-Hazzam *et al.*, 2020; Morillo; Manjarres; Mora, 2022). São caracterizadas como emulsificantes, espumantes e causarem um sabor amargo. A sua característica anfifílica é a responsável por diminuir a tensão superficial e formar espuma quando em contato com a água quando agitada (Morillo; Manjarres; Mora, 2022).

De acordo com a sua estrutura, podem ser divididas em dois tipos: esteroidal, que está presente nas angiospermas monocotiledôneas, e triterpenoide (Figura 6), que está presente nas angiospermas dicotiledôneas (El-Hazzam *et al.*, 2020). São tensoativos não iônicos que são derivados de plantas e são aplicados em uma gama de produtos, como produtos desinfetantes, cosméticos, vacinas e medicamentos, por conterem propriedades terapêuticas e propriedades químicas próprias (Cruz; Pereira, 2023). Elas também são associadas a ações expectorantes, diurética, anti-inflamatória e antifúngica (Silva *et al.*, 2021).

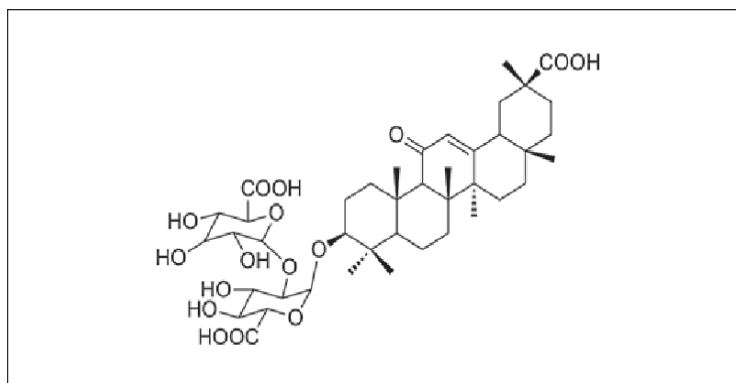


Figura 6: Estrutura do Ácido glicirrético

Fonte: Chen, Guan e Shen (2016)

3.2.5 Taninos

Os taninos são compostos fenólicos que aparecem como o quarto grupo mais abundante de metabólitos secundários presentes nas plantas. São amplamente distribuídos na natureza, especialmente entre as gimnospermas e angiospermas (Monteiro *et al.*, 2005; Vieira *et al.*, 2020). Sua função está relacionada com o processo de defesa contra fungos, herbívoros, patógenos e alterações climáticas indesejadas, como períodos de seca por exemplo, sendo assim quanto mais a planta sofrer com esses fatores mais a concentração de taninos irá aumentar (Cordão; Filho; Bakke, 2010; Vieira *et al.*, 2020).

Eles são encontrados em várias partes das plantas como raiz, caule, folhas, flores, frutos e sementes (Grasel; Marcelo; Ferrão, 2016). Os taninos eram anteriormente classificados apenas como hidrolisáveis e condensados, porém essa divisão em dois grupos não refletia toda a diversidade estrutural dessas substâncias. Sendo atualmente classificados em quatro grupos com base em suas características estruturais: galotaninos, que são taninos formados por unidades de ácido gálico (Figura 7), ou seus derivados, ligadas a diferentes estruturas, como polióis, catequinas ou triterpenóides; elagitaninos, são taninos formados por pelo menos duas unidades de ácido gálico ligadas entre si por ligações carbono-carbono, sem a presença de unidades de catequina ligadas por glicosídeos; taninos complexos são compostos nos quais uma unidade de catequina está ligada por ligação glicosídica a uma unidade de galotanino ou elagitanino; e os taninos condensados, são proantocianidinas oligoméricas ou poliméricas formadas pela ligação do carbono 4

(C-4) de uma unidade de catequina ao carbono 8 (C-8) ou 6 (C-6) da catequina seguinte (Khandabae; Van Ree, 2001).

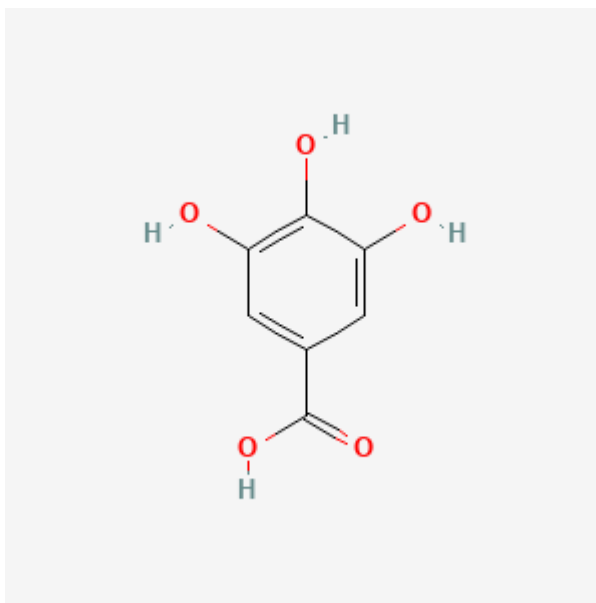


Figura 7: Estrutura do ácido gálico

Fonte: PUBCHEM (2025)

3.3 Resistência natural

A resistência natural da madeira à degradação diz respeito a sua capacidade de enfrentar e combater as ações de agentes biológicos, físicos e químicos que podem deteriorá-la. Contudo esse termo está mais relacionado aos agentes biológicos, por ser mais comum e ter maior relevância econômica (Willeitner, 1984).

A resistência natural à deterioração é uma das propriedades funcionais mais variáveis da madeira, e essas variações resultam em diferentes classes de durabilidade entre espécies, dentro de uma mesma espécie e até mesmo em partes distintas de uma única árvore (Eaton; Hale, 1993). Entre os xilófagos mais comuns destacam-se os fungos, que se desenvolvem facilmente na madeira quando as condições ambientais são favoráveis. Esses organismos possuem a capacidade de decompor completamente a madeira ou, em alguns casos, causar apenas alterações superficiais, como manchas. De acordo com sua ação, são classificados em fungos apodrecedores, emboloradores e manchadores (Rocha, 2001).

Por se tratar de um material de origem orgânica, a madeira é naturalmente vulnerável ao ataque de fungos apodrecedores, cuja resistência à deterioração varia conforme as condições ambientais, como umidade, temperatura, pH e disponibilidade de oxigênio (Archer; Lebow, 2006). A resistência natural da madeira à biodeterioração é associada à presença de substâncias, como os taninos e outras substâncias fenólicas complexas, que são tóxicas a fungos e a insetos xilófagos (Hunt; Garratt, 1967; Findlay, 1985; Lelles; Rezende, 1986). Árvores de crescimento rápido geralmente apresentam menor resistência natural em comparação com as de crescimento lento (Scheffer, 1973; Panshin; De Zeeuw, 1980).

A degradação da madeira pelos agentes biológicos tem um papel fundamental para a reciclagem de nutrientes nos ecossistemas, pois contribui para o equilíbrio e a diversidade da vida na natureza (Jankowsky, 1990). Entretanto, são os maiores causadores de prejuízos na utilização da madeira (Sgai, 2000).

3.4 Pesticidas tóxicos

Os pesticidas são produtos químicos amplamente utilizados para o controle de organismos considerados pragas, como fungos, insetos e larvas, inclusive no tratamento de madeiras não duráveis, com o objetivo de aumentar sua vida útil e resistência à biodeterioração (Basso; Siqueira; Richards, 2021). No entanto, o uso intensivo desses compostos sintéticos tem gerado preocupações crescentes quanto aos seus impactos negativos para o meio ambiente e para a saúde humana e animal (Ferreira *et al.*, 2018).

Em razão desses riscos, há um interesse crescente na busca por alternativas mais sustentáveis, como substâncias de origem natural que possam atuar de forma eficiente contra agentes biodeterioradores, mas com menor toxicidade e impacto ambiental. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), por exemplo, tem monitorado a presença de resíduos de pesticidas em alimentos desde 2001, refletindo a crescente preocupação com os efeitos adversos desses compostos (ANVISA, 2017).

A exposição a pesticidas pode causar efeitos agudos e crônicos à saúde, além de contribuir para desequilíbrios ecológicos ao afetar espécies benéficas nos ecossistemas (Rigotto; Aguiar, 2015; Pimentel, 1988). Diante disso, o estudo de madeiras naturalmente resistentes à ação de fungos e insetos, bem como a

investigação de compostos bioativos com potencial pesticida, torna-se uma alternativa promissora à dependência de produtos sintéticos (Pimentel *et al.*, 1993).

3.5 *Averrhoa carambola* L.

A *Averrhoa carambola* L. é uma árvore frutífera pertencente à família Oxalidaceae, originária do sudeste asiático e introduzida no Brasil no século XVIII (Figura 8). É popularmente utilizada como estimulante do apetite, antidiarreico e febrífugo (Lennox; Ragoonath, 1990; Nakasone; Paul, 1998; Bastos, 2004). Atualmente, é cultivada em todo o território nacional, com maior predominância nas regiões de clima mais quente (Gol *et al.*, 2015).



Figura 8 - *Averrhoa carambola* L.

Fonte: Mundo ecologia.

Seus frutos são carnosos, tendo de 5 a 15 cm de comprimento e até 9 cm de largura, a carne tem uma cor amarelo claro ou amarelo translúcido (Figuras 9 e 10), e seu sabor vai do azedo a levemente doce ou doce, com um formato oblongo contendo geralmente 5 recortes longitudinais correspondendo aos carpelos (Dasgupta; Hazra; Panda, 2013). A casca do fruto é translúcida, lisa e brilhante, com as cores variando do esbranquiçado a um amarelo-ouro quando maduro (Campbell; Koch, 1989; Wilson III, 1990; Teixeira *et al.*, 2007).



Figura 9 - Fruto de *Averrhoa carambola* L.
Fonte: Dasgupta, Hazra e Panda (2013)



Figura 10 - Recortes longitudinais no fruto de *A. carambola* L.
Fonte: Dasgupta, Hazra e Panda (2013)

As flores são pequenas medindo cerca de 6mm de largura, são pediceladas e contém 5 sépalas e pétalas, sua cor varia de roxo a roxo brilhante e são produzidas nas axilas das folhas, dispostas em cachos (Figura 11) (Dasgupta; Hazra; Panda, 2013). Ela pode conter de 0 até 12 sementes por fruto, as sementes são de cor marrom, planas e finas, contendo 5 mm de comprimento, ficam envolvidas por um arilo gelatinoso, e perdem sua viabilidade em poucos dias após a remoção do fruto (Dasgupta; Hazra; Panda, 2013).



Figura 11 - Flor da *A. carambola* L.

Fonte: Dasgupta, Hazra e Panda (2013)

Já a sua madeira apresenta coloração originalmente branca, que tende a adquirir tons avermelhados com o tempo. Possui grão fino e dureza média, o que confere boa trabalhabilidade (Morton, 1987; ECHOcommunity, 2010). Por essas características, é relatada como sendo utilizada em construções leves, na fabricação de móveis simples e pequenos utensílios, como brinquedos e peças torneadas (Morton, 1987; ECHOcommunity, 2010; Herbazest, 2022; PFAF, 2023).

Dentre os componentes químicos presentes no fruto, foram identificados através de análises fitoquímicas preliminares a presença de saponinas, alcaloides, flavonoides e taninos (Thomas; Patil; Patil, 2008). Além disso, estão presentes as proantocianidinas, epicatequina, ácido gálico na forma de galotanino e ácido L-ascórbico (Guanghou; Leong, 2004). Os principais esteróis presentes no fruto da carambola incluem o beta-sitosterol, campesterol, isofucosterol, além do triterpeno lupeol e de quatro ácidos graxos vegetais predominantes: ácido palmítico, oleico, linoleico e linolênico (Nordby; Hall, 1979). Na casca do caule foi encontrada a presença de 5-hidroximetil-2-furfural, p-anisalaldeído, álcool di-hidroabscísico e ácido gálico (Raganayaki; Singh; Singh, 1980).

Em relação à madeira da *A. carambola*, foi encontrado apenas um único relato na literatura científica. Nesse estudo, dois fenóis alquilados, 2,5-dimetoxi-3-undecilfenol e 5-metoxi-3-undecilfenol, foram isolados, juntamente com duas benzoquinonas conhecidas, 5-O-metilembelina e 2-desidroxi-5-O-metilembelina (Chakthong *et al.*, 2010). Esses compostos foram obtidos especificamente a partir da madeira da planta, representando uma importante contribuição para o conhecimento químico dessa parte pouco explorada da espécie.

4. METODOLOGIA

4.1 Coleta do material vegetal

O material vegetal foi coletado no Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), e depositado em seu herbário, localizado na Av. General San Martin, 1371, Recife, Pernambuco, Brasil.

4.2 Preparação dos extrativos

Para a preparação dos extrativos foi pesado 100g de madeira seca e moída que foi extraída com hexano e em seguida com etanol em aparelho de Soxhlet por 8 horas. O extrato etanólico concentrado obtido foi submetido à extração em fase sólida de acordo com a metodologia de Jardim, 2010. Para o desenvolvimento da técnica foram utilizados cartuchos C18 de marca Phenomenex acoplados a um Manifold a vácuo. Para condicionar os cartuchos foram utilizados 10 mL de metanol, seguidos de 10 mL de água ultrapura e 10 mL de água ultrapura acidificada (pH 2). 300 mg do extrato etanólico foram solubilizados em metanol e adicionados ao cartucho. Após a passagem da amostra, o clean-up do cartucho foi realizado com água ultrapura acidificada. A eluição dos compostos foi realizada com a percolação de 3 mL de metanol e acetato de etila. A fase metanólica obtida foi concentrada sob pressão reduzida e analisada por CLAE-EMAR.

4.3 Testes fitoquímicos

Foram realizados testes fitoquímicos específicos para identificar as principais classes de metabólitos secundários presentes na madeira, seguindo a metodologia de Costa (1982). Todos os testes foram realizados com a madeira da *A. carambola* L. moída.

4.3.1 Determinação de Alcalóides

Para a identificação da presença de alcaloides na madeira estudada, foi realizado o teste de Dragendorff – K(Bil4). Foi pesado 1g do material seco e moído em um tubo de ensaio, ao qual foram adicionados 10 ml de H₂SO₄. Em seguida, a mistura foi aquecida em banho-maria a 100°C por 2 minutos e posteriormente filtrada. Ao filtrado foram adicionadas gotas do reagente de Dragondorff. A presença de alcaloides é confirmada pela formação de um precipitado laranja-avermelhado.

4.3.2 Determinação de Esteroides e Terpenos

Para identificar a presença de esteroides e terpenos, foi realizado o teste de Liebermann-Buchard (anidrido acético + ácido sulfúrico concentrado). Foi pesado 1g do material seco e moído em um tubo de ensaio. Foram adicionados 3 mL de clorofórmio e em seguida a mistura foi filtrada. Foram adicionados 2 mL de anidrido acético ao filtrado, após isso o tubo de ensaio foi agitado fortemente. Posteriormente, foi adicionado 5 gotas de ácido sulfúrico concentrado. A determinação da presença de esteroides e terpenos é observada pelo surgimento das cores rosa, azul ou verde.

4.3.3 Determinação de Flavonoides

Para identificar a presença de flavonoides foi realizado o teste de Shinoda (HCl concentrado e magnésio). Foi pesado 1 g da madeira moída em um tubo de ensaio, onde foi adicionado 5 mL de metanol (MeOH). Posteriormente, a solução foi filtrada e após isso foi adicionado 1 mL de ácido clorídrico (HCl) concentrado. Em seguida, foi adicionado à solução 1 cm de fita de magnésio. A presença de flavonoides se dá pelo aparecimento da coloração rosa.

4.3.4 Determinação de Saponinas

Para identificar saponinas foi feito o teste de espuma. Foi pesado 1 g da madeira seca e moída, em um tubo de ensaio e foram adicionados 5 mL de água destilada. Após isso, o tubo foi agitado fortemente durante 5 minutos e em seguida deixado em repouso por 30 minutos. O aparecimento de espuma depois do tempo de espera, significa a presença de saponinas.

4.3.5 Determinação de Taninos

O teste utilizado para identificar taninos foi o de cloreto férrico. Após pesar 1 g do material seco e moído em um tubo de ensaio, foi adicionado 10 mL de água destilada. Posteriormente, a mistura foi filtrada, e ao filtrado foram adicionadas lentamente gotas de cloreto férrico 1%. O surgimento da coloração verde indica a presença de taninos condensados, e o surgimento da coloração azul indica a presença de taninos hidrolisáveis.

4.4 Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides

4.4.1 Fenólicos totais

A quantificação de fenólicos totais foi realizada conforme a metodologia descrita por Amorim et al. (2008). Inicialmente, o extrato etanólico foi preparado em triplicata, dissolvendo-se 1 mg/mL em metanol, utilizando balões volumétricos de 25 mL. Alíquotas de 200 µL de cada extrato diluído foram transferidas para tubos de ensaio. A esses tubos, adicionaram-se 0,5 mL de uma solução aquosa a 10% do reagente Folin-Ciocalteu, 1 mL de uma solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 7,5% e água destilada até alcançar o volume final de 10 mL. As amostras foram homogeneizadas e mantidas em repouso por 30 minutos no escuro, à temperatura ambiente. Após esse período, a absorbância foi determinada em espectrofotômetro a 760 nm, utilizando água destilada como referência (branco). Para a construção da curva de calibração, utilizou-se ácido tânico como padrão, em concentrações de 0,05 a 1,00 µL/mL (0,050; 0,100; 0,150; 0,200; 0,250; 0,500; 0,750; 1,000 µL a 1 mg/mL). A cada alíquota padrão, foram adicionados 0,5 mL de Folin-Ciocalteu, 1 mL de Na_2CO_3 a 7,5% e água destilada até completar 10 mL.

4.4.2 Taninos

Em triplicata, o extrato etanólico foi dissolvido em metanol P.A. a 1 mg/mL em balões volumétricos de 25 mL. Em seguida, 1 g de caseína foi transferido para um erlenmeyer de 25 mL, ao qual foram adicionados 6 mL do extrato diluído e 12 mL de água destilada. A mistura foi agitada continuamente por 3 horas e, posteriormente, filtrada em um balão volumétrico de 25 mL, completando-se o volume com água destilada. Alíquotas do filtrado foram submetidas à quantificação de fenóis residuais pelo método de Folin-Ciocalteu (Amorim et al, 2008). O teor de taninos foi calculado pela diferença entre os níveis de fenóis totais e fenóis residuais. A curva de calibração foi elaborada com ácido tânico nas mesmas concentrações mencionadas para os fenóis totais.

4.4.3 Flavonoides

A quantificação de flavonoides foi realizada através da metodologia descrita por Silva (2017) com modificações. O extrato etanólico foi diluído em metanol a 1 mg/mL em balões volumétricos de 25 mL, em triplicata. Alíquotas de 200 µL do extrato

diluído foram transferidas para tubos de ensaio, aos quais se adicionaram 120 µL de ácido acético glacial, 0,5 mL de uma solução de cloreto de alumínio a 5% (p/v) em água destilada e água destilada até atingir 10 mL. As amostras foram agitadas e incubadas no escuro por 30 minutos à temperatura ambiente. Após o período de incubação, a absorbância foi medida em espectrofotômetro a 420 nm, utilizando água destilada como branco. Para a curva de calibração, utilizou-se rutina como padrão a 0,1 mg/mL em metanol, nas concentrações de 0,05 a 2,00 µL/mL (0,05; 0,10; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,50; 2,00 µL). A cada alíquota padrão, foram adicionados 120 µL de ácido acético glacial, 0,5 mL de cloreto de alumínio a 5% e água destilada até completar 10 mL. Os teores de flavonoides foram expressos em miligramas de equivalente de rutina por grama de extrato (mg ER/g).

4.5 Cromatografia Líquida de Alta Eficiência com Espectrometria de Massas de alta resolução (CLAE-EMAR)

Os equipamentos utilizados foram Cromatógrafo Líquido Ultimate 3000, Thermo Scientific, com coluna Agilent - C18 (4,6 x 100mm; 3,5µm), acoplado ao espectrômetro de Massas de Alta Resolução Q-Exactive, Thermo Scientific, com fonte H-ESI, operando em modo negativo, utilizando voltagem do spray 3,5 kV, gás de bainha 30, gás auxiliar 10, temperatura do capilar 350°C, temperatura de gás auxiliar 250 °C, tube lens 55 e faixa de massas m/z 150-700. A análise por CLAE foi realizada com água deionizada acidificada com 0,1 % de ácido fórmico (Fase móvel A, v/v) e metanol acidificado com 0,1% ácido fórmico (Fase móvel B – v/v). A programação gradiente realizada iniciou com 93:07 (A:B %), 70:30 (A:B %) em 10 minutos, 50:50 (A:B %) em 5 minutos, 30:70 (A:B %) em 3 minutos, 20:80 (A:B %) em 2 minutos, 100 (B %) em 3 minutos, permanecendo por 9 minutos. O tempo de corrida foi 32 minutos com fluxo de 0,3 mL/min, volume injeção 10 µL e temperatura da coluna 30 °C. Para o estudo de fragmentação foi utilizado o experimento PRM (Parallel Reaction Monitoring – Monitoramento de Reações Paralelas) com energia de colisão igual 30 (NCE).

Para identificar os compostos fenólicos utilizou-se uma solução estoque com padrões em metanol na concentração de 1 mg.mL⁻¹. A partir das soluções estoque foi preparada a solução da mistura dos padrões na concentração de 50 µg mL⁻¹. A análise para a mistura dos padrões foi realizada nas mesmas condições das

amostras. Os padrões de compostos fenólicos utilizados foram: ácido gálico, ácido protocatequínico, ácido gentísico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido vanílico, ácido ferulico, ácido elágico, catequina, epicatequina, rutina, quercetina, naringenina, luteolina e kaempferol. Os dados foram processados no software Xcalibur™.

4.6 Atividade antioxidante

4.6.1 DPPH•

Para determinar a atividade antioxidante total (Brand-Williams et al., 1995), alíquotas de 50 µL da amostra (1000 µg/mL) foram transferidas para tubos eppendorf, juntamente com 1,95 mL de uma solução de DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazil) a 60 µM, diluída em metanol. As misturas foram homogeneizadas e mantidas em repouso por 20 minutos, protegidas da luz. Um controle negativo foi preparado substituindo a amostra por etanol, enquanto o foi empregado o ácido ascórbico como controle positivo. Após o período de reação, as absorvâncias foram determinadas a 515 nm. A capacidade de inibição do radical DPPH• foi estimada utilizando a seguinte equação:

$$\text{Atividade antioxidante (\%)} = (Abs_{\text{controle}} - Abs_{\text{amostra}}) / Abs_{\text{controle}} \times 100$$

Onde Abs_{controle} correspondeu à absorvância do controle negativo e Abs_{amostra} a absorvância na presença da amostra ou ácido ascórbico.

4.6.2 ABTS•+

O experimento seguiu a metodologia descrita por Re et al. (1999). O radical ABTS•+ foi produzido a partir da reação de 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico (ABTS) a 7 mM com persulfato de potássio a 2,45 mM, incubado por 16 horas a 30 °C, protegido da luz. Antes do uso, a solução de ABTS•+ foi diluída em metanol até atingir uma absorvância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Para o ensaio, 50 µL da amostra (1000 µg/mL) foram combinados com 950 µL da solução de ABTS•+ e deixados em reação por 6 minutos. Um controle negativo foi preparado utilizando metanol no lugar das amostras, enquanto o ácido ascórbico foi usado como controle positivo. Após o tempo de reação, as absorvâncias foram medidas a 734 nm. A

capacidade antioxidante foi expressa como a porcentagem de inibição do radical, calculada pela equação:

$$\text{Atividade antioxidante (\%)} = (Abs_{\text{controle}} - Abs_{\text{amostra}}) / Abs_{\text{controle}} \times 100$$

Onde Abs_{controle} é a absorbância do controle, contendo apenas a solução metanólica e ABTS^{•+}, e Abs_{amostra} é a absorbância do radical na presença da amostra ou ácido ascórbico.

4.7 Teste de atividade antifúngica

Foram utilizadas cepas de *Phanerochaete chrysosporium*, obtidas da coleção de microrganismos do Laboratório de Microbiologia Ambiental e Industrial, no departamento de antibióticos da UFPE.

As cepas foram inoculadas em meio de cultura ágar batata dextrose (BDA), sendo inoculado um disco de micélio no centro de cada placa de Petri (Grigoletti Junior e Lau, 1999) contendo 5 variações de concentração do extrato etanólico de *A. carambola*: 0.5; 1.25; 2.5; 3.75; e 5.0 mg/mL. Onde, cada placa continha 19 mL do meio BDA e 1 mL do extrato. O tratamento controle foi sem a utilização do extrato e para cada concentração foram realizadas três repetições.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Testes fitoquímicos

Os resultados dos testes fitoquímicos realizados com a madeira moída de *A. carambola* estão detalhados na Tabela 1. Os resultados evidenciam a presença de taninos, flavonóides, esteróides e terpenos. No entanto, foi observado a ausência de saponinas e alcalóides.

Tabela 1. Classes de metabólitos secundários identificados em *Averrhoa carambola* L.

Classes de extrativos	Teste	<i>Averrhoa carambola</i>
Alcalóides	Dragendorff	(-)
Esteróides e Terpenos	Liebermann-Buchard	(+)
Flavonoides	Shinoda	(+)

Saponinas	Espuma	(-)
Taninos	Cloreto férrico	(+)

Legenda: (-) ausência de extrativos; (+) presença de extrativos.

5.2 Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides

A quantificação dos compostos fenólicos, taninos e flavonoides no extrato etanólico da madeira de *Averrhoa carambola* revelou valores expressivos, com $75,47 \pm 4,69$ mg EAT/g de fenólicos totais, $21,15 \pm 2,63$ mg EAT/g de taninos e $15,41 \pm 0,84$ mg ER/g de flavonoides (Tabela 2, Figuras 12 e 13).

Tabela 2 - Quantificação de fenólicos totais, taninos e flavonoides

Extrato etanólico	Fenólicos totais (mg EAT/g)	Taninos (mg EAT/g)	Flavonoides (mg ER/g)
	$75,47 \pm 4,69$	$21,15 \pm 2,63$	$15,41 \pm 0,84$

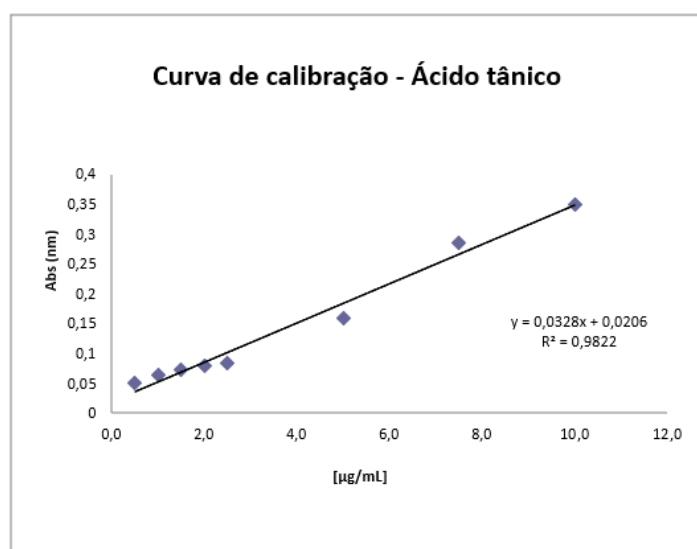


Figura 12 - Curva de calibração do padrão ácido tânico

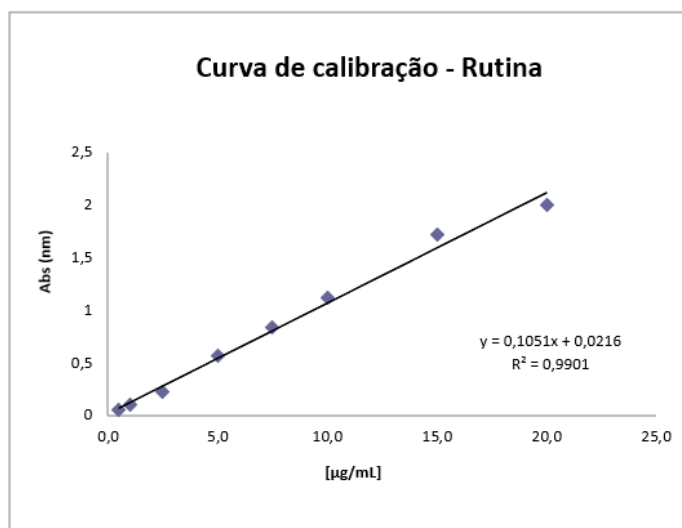


Figura 13 - Curva de calibração do padrão rutina

Estes resultados demonstram que, mesmo sendo um tecido lenhoso e estrutural, a madeira da espécie contém compostos bioativos relevantes, que podem justificar os efeitos antioxidantes e antifúngicos observados neste estudo. Ao comparar esses dados com estudos anteriores, observa-se que a casca da planta apresenta concentrações superiores de compostos fenólicos e flavonoides. Rhaman, Shoeb e Islam (2022) relataram 125 mg EAG/g de fenólicos totais e até 92 mg EQ/g de flavonoides em extratos da casca obtidos com diclorometano. De modo semelhante, Pang et al. (2016) identificaram teores entre 174,5 e 293,1 mg GAE/100 g de fenólicos e até 235,1 mg EC/100 g de flavonoides em frutos frescos de diferentes cultivares, confirmando que essas estruturas metabólicas mais ativas concentram naturalmente maiores quantidades desses compostos.

A quantificação de taninos no extrato etanólico da madeira de *Averrhoa carambola* revelou um valor de $21,15 \pm 2,63$ mg EAT/g, indicando a presença significativa desse grupo de compostos. A maior parte dos estudos sobre a espécie tem se concentrado em folhas e frutos, e alguns autores já realizaram a quantificação de taninos nessas partes, como no estudo indonésio com folhas das variedades “sour” e “sweet”, que relatou teores de 18.810,43 e 11.035,75 mg EAT/100 g, respectivamente (Wijaya et al., 2018).

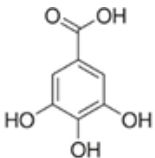
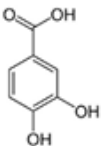
5.3 Caracterização de compostos fenólicos

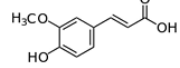
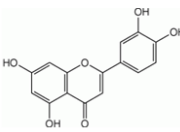
A caracterização dos compostos fenólicos presentes na madeira de *Averrhoa carambola* L. foi realizada através da análise da fase metanólica obtida a partir da partição em fase sólida (SPE) do extrato etanólico bruto. A amostra foi submetida à cromatografia líquida de alta eficiência acoplada ao espectrômetro de massas de alta resolução (CLAE-EMAR), sendo os compostos identificados com base na comparação com padrões analíticos previamente adquiridos.

Os padrões utilizados incluíram os seguintes compostos fenólicos: ácido gálico, ácido protocatequínico, ácido gentísico, ácido cafeico, ácido p-cumárico, ácido vanílico, ácido ferúlico, ácido elágico, catequina, epicatequina, rutina, quercetina, naringenina, luteolina e caempferol. Os critérios de identificação consideraram o tempo de retenção (Tr), a massa molecular teórica, o íon molecular detectado $[M-H]^-$ e, quando disponível, a fragmentação característica dos compostos.

Na Tabela 5 estão apresentados os principais compostos fenólicos identificados, até o momento, na amostra analisada. Dentre eles, destacam-se o ácido gálico (Tr = 9,38 min), ácido protocatequínico (Tr = 13,70 min), ácido ferúlico (Tr = 21,65 min), rutina (Tr = 23,69 min) e luteolina (Tr = 25,11 min), os quais foram identificados com alto grau de confiança, considerando a excelente concordância entre os tempos de retenção, as massas detectadas e as massas moleculares calculadas, com erro inferior a 5 ppm. A presença desses compostos reforça os dados obtidos nos testes fitoquímicos e na quantificação de fenólicos, incluindo flavonoides.

Tabela 3 - Compostos fenólicos detectados na amostra analisada.

Nome	Tempo de retenção (Tr)	Fórmula molecular	Massa molecular	Massa/carga detectada $[M-H]^-$ m/z	Estrutura
ácido gálico	9,38	C ₇ H ₆ O ₅	170,02153	169,01370	
ácido protocatequico	13,70	C ₇ H ₆ O ₄	154,02661	153,01879	

ácido ferúlico	21,65	C ₁₀ H ₁₀ O ₄	194,05791	193,05009	
luteolina	25,11	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	286,04774	285,03992	

A presença de ácidos fenólicos simples, como o gálico e o protocatequínico, está associada a atividades antioxidantes significativas, uma vez que esses compostos possuem alta capacidade de doação de elétrons e estabilização de radicais livres (Hadid et al., 2024; Li et al., 2011). Compostos a luteolina, por sua vez, são flavonoides amplamente reconhecidos por suas ações antioxidante, anti-inflamatória e antifúngica, podendo contribuir para os efeitos biológicos observados neste estudo (Peng et al., 2024; Zhou et al., 2021, Santana, 2011).

A caracterização química apresentada revela que, mesmo sendo uma matriz vegetal lenhosa, a madeira de *A. carambola* possui perfil fitoquímico com compostos fenólicos bioativos, o que corrobora com os resultados obtidos nos ensaios antioxidantes e antifúngicos, sugerindo seu potencial como fonte de metabólitos com aplicação tecnológica.

Além dos compostos identificados por comparação com padrões analíticos, o cromatograma revelou a presença de diversos outros picos com características espectrométricas compatíveis com substâncias fenólicas. Esses sinais indicam a existência de metabólitos adicionais não contemplados pelos padrões utilizados, reforçando a complexidade química do extrato analisado.

5.4 Atividade antioxidante

A avaliação da atividade antioxidante do extrato etanólico da madeira de *Averrhoa carambola* revelou resultados expressivos, com capacidade de inibição de radicais livres de $54,14 \pm 2,56\%$ no método DPPH $\cdot$ e $73,93 \pm 0,87\%$ no método ABTS $^{\cdot+}$ (Figura 14, Tabela 3). Esses valores indicam a presença de compostos com potencial redutor relevante, mesmo tratando-se de um tecido lenhoso, o que reforça a hipótese de que a madeira da espécie também pode atuar como reservatório de metabólitos bioativos.

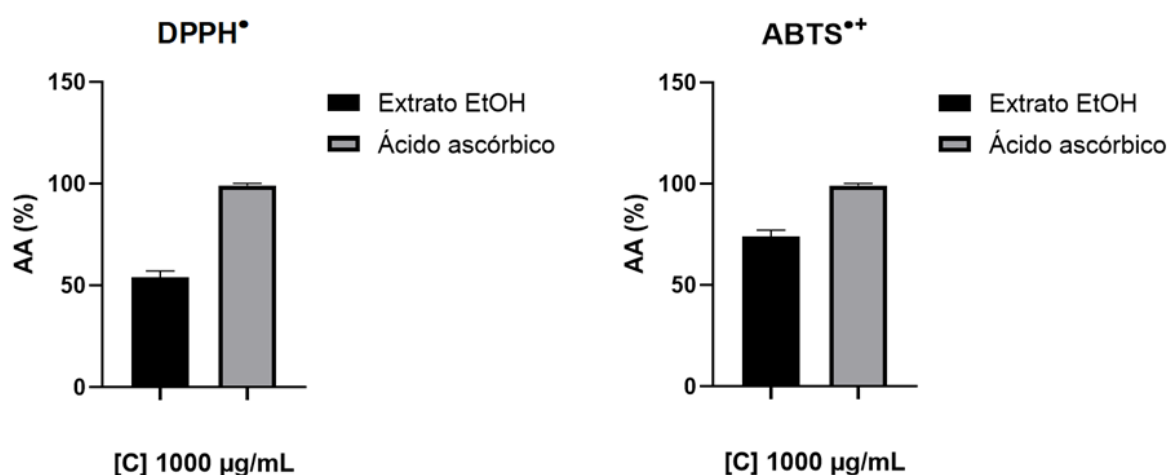


Figura 14 - Comparação entre o extrato etanólico e o ácido ascórbico

Tabela 4 - Comparação do extrato etanólico de *A. carambola* com ácido ascórbico

Amostra	DPPH [•] (AA%)	ABTS ^{•+} (AA%)
Extrato etanólico	54,14 ± 2,56	73,93 ± 0,87
Ácido ascórbico	99,13 ± 1,78	100

Estudos anteriores já abordaram o perfil antioxidante de folhas, frutos e bagaço da carambola, como demonstrado nos trabalhos de Wei et al. (2014) e Pantaleón-Velasco et al. (2014). No entanto, não foram encontrados registros de investigações voltadas especificamente à madeira da espécie. Isso destaca a originalidade desta pesquisa e a necessidade de explorar tecidos vegetais menos estudados. Os resultados obtidos mostram que a madeira, mesmo com composição estrutural distinta (rico em celulose, hemicelulose e lignina), apresenta compostos antioxidantes em níveis comparáveis aos de partes tradicionalmente estudadas da planta.

5.5 Teste de atividade antifúngica

No presente estudo, o teste de atividade antifúngica foi realizado com o *Phanerochaete chrysosporium*, utilizando o extrato etanólico da *A. carambola* sem adição de antifúngicos ao meio (Figura 15 e Tabela 4). Os resultados observados foram positivos para a atividade antifúngica.

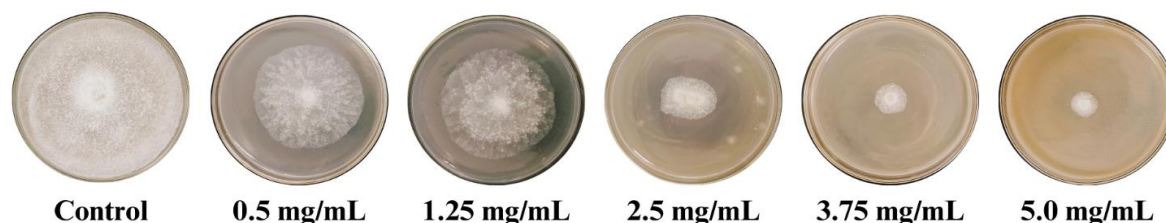


Figura 15 - Crescimento, de *Phanerochaete chrysosporium* em meio ágar batata dextrose (BDA) contendo diferentes concentrações do extrato etanólico da madeira de *Averrhoa carambola*.

Tabela 5 - Taxa de inibição do crescimento de *Phanerochaete chrysosporium* por diferentes concentrações do extrato etanólico da madeira de *Averrhoa carambola*.

Concentrações (mg/mL)	0.5	1.25	2.5	3.75	5.0
Crescimento micelial (mm)	65.43	60.60	26.03	17.65	11.69
Índice antifúngico (%)	27,30%	32.66%	71.07%	80.38%	87.01%

O ensaio com a cepa *Phanerochaete chrysosporium* evidenciou uma resposta positiva, com inibição crescente do crescimento micelial conforme o aumento da concentração do extrato. A maior taxa de inibição, 87,01%, foi obtida na concentração de 5,0 mg/mL, indicando um efeito dose-dependente.

A ação antifúngica observada pode estar associada à presença de taninos e flavonoides, que são capazes de comprometer a integridade da parede celular fúngica, inibir enzimas digestivas, e alterar processos de transporte e respiração celular em fungos (MONTEIRO et al., 2005; CORDÃO; PEREIRA FILHO; BAKKE, 2010). A inibição de *P. chrysosporium*, um fungo apodrecedor altamente eficiente na

degradação lignocelulósica, evidencia o potencial do extrato como agente protetor da madeira e como alternativa promissora na substituição de fungicidas sintéticos.

Outros estudos obtiveram resultados positivos para atividade antifúngica: Majhi et al. (2019) utilizou o extrato metanólico das folhas, que mostrou forte atividade antifúngica contra *Candida krusei*, com uma zona de inibição de $21,09 \pm 0,08$ mm. Shahjahan et al. (2023), avaliou os extratos etanólico e aquoso das folhas e dos frutos contra *Aspergillus niger* e *Candida albicans*. O extrato etanólico das folhas obteve uma zona de inibição de 12mm para *Candida albicans* e 13mm para *Aspergillus niger*, os extratos aquosos da folha e do fruto e o extrato etanólico do fruto tiveram resultados muito baixos ou ausentes. Silva et al. (2020), testou o extrato etanólico da casca do caule e do bagaço do fruto, contra quatro espécies de fungos do gênero *Candida*, obtendo uma concentração inibitória mínima que variou entre 100 e 400 µg/mL, dependendo do fungo. Esses trabalhos mostram que várias partes da *A. carambola* possuem atividade antifúngica, geralmente associada a compostos como taninos e flavonoides. No entanto, existe uma falta de estudos que explorem a atividade antifúngica da madeira da espécie.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a madeira da *Averrhoa carambola* L. é uma fonte relevante de compostos bioativos, mesmo sendo um tecido estrutural tradicionalmente pouco explorado nesse contexto. Através dos testes fitoquímicos e das análises quantitativas, foi possível confirmar a presença significativa de fenólicos totais, taninos e flavonoides no extrato etanólico da madeira. Além disso, a caracterização por CLAE-EMAR permitiu identificar importantes compostos fenólicos, como ácido gálico, ácido ferúlico, ácido protocatequico e luteolina, corroborando o potencial bioativo da espécie.

A avaliação da atividade antioxidante evidenciou uma expressiva capacidade de inibição de radicais livres, tanto pelos métodos DPPH[·] quanto ABTS^{·+}, o que reforça o potencial da madeira como fonte natural de antioxidantes. No que diz respeito à atividade antifúngica, os resultados mostraram que o extrato etanólico foi capaz de inibir de forma dose-dependente o crescimento do fungo *Phanerochaete chrysosporium*, alcançando mais de 87% de inibição na maior concentração testada.

Esses achados indicam que a madeira da *A. carambola* possui características químicas promissoras, que podem contribuir para o desenvolvimento de produtos naturais com propriedades antioxidantes e antifúngicas, aplicáveis em áreas como farmacologia, conservação de madeira e controle microbiológico ambiental. Além disso, os dados obtidos ampliam o conhecimento sobre a espécie e ressaltam a importância de explorar diferentes tecidos vegetais em pesquisas fitoquímicas e biotecnológicas.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (Brasil). *Programa de análise de resíduos de agrotóxicos em alimentos (PARA): relatório de atividades de 2011 e 2012*. Brasília: Anvisa, 2017.

AMORIM, Elba L. C. et al. A simple and accurate procedure for the determination of tannin and flavonoid levels and some applications in ethnobotany and ethnopharmacology. *Functional Ecosystems and Communities*, v. 2, n. 1, p. 88–94, 2008.

ARAHO, D.; MIYAKOSHI, M.; CHOU, W. H.; KAMBAR, T.; MIZUTANI, K.; IKEDA, T. Um novo C-glicosídeo flavonoide das folhas de *Averrhoa carambola*. *Natural Medicines*, v. 59, n. 3, p. 113-116, 2005.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: WALKER, J. C. F. (Org.). *Primary wood processing: principles and practice*. Dordrecht: Springer, 2006. p. 297-338.

BASSO, C., SIQUEIRA, A. C. F., RICHARDS, N. S. P. Impactos na saúde humana e no meio ambiente relacionados ao uso de agrotóxicos: uma revisão integrativa. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, e43110817529, 2021.

BASTOS, Débora Costa. A cultura da carambola. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 26, n. 2, 2004.

BELL, S. G.; DODD, D. Terpenes in perfumes, cosmetics and flavours: their use, properties and production. *Flavour and Fragrance Journal*, v. 35, n. 1, p. 25-35, 2020.

Borges, L. P.; Amorim, V. A. *Metabólitos Secundários de Plantas – Secondary Plant Metabolites*. Revista Agrotecnologia, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 54–67, 2020.

CAMPBELL, G. S.; KOCH, S. S. Water management in tropical fruit production. *Horticultural Reviews*, v. 11, p. 1-42, 1989.

CATHERINE, A. R.; PACKER, L. *Flavonoids in health and disease*. 2. ed. New York: Basel, 2003.

CHAKTHONG, S.; CHIRAPHAN, C.; JUNDÉE, C.; CHAOWALIT, P.; VORAVUTHIKUNCHAI, S. P. Alkyl phenols from the wood of *Averrhoa carambola*. *Chinese Chemical Letters*, v. 21, n. 9, p. 1094-1096, 2010.

CHEN, Hansen; GUAN, Binghe; SHEN, Jiangang. Targeting ONOO⁻/HMGB1/MMP-9 signaling cascades: potential for drug development from Chinese medicine to attenuate ischemic brain injury and hemorrhagic transformation induced by thrombolytic treatment. *Frontiers in Neurology*, v. 7, p. 241, 2016.

CHRISTIANSON, D. W. Structural and chemical biology of terpenoid cyclases. *Chemical Reviews*, v. 117, n. 17, p. 11570–11648, 2017.

CORDÃO, Maiza Araújo; PEREIRA FILHO, José Moraes; BAKKE, Olaf Andreas; BAKKE, Ivonete Alves. Taninos e seus efeitos na alimentação animal: revisão bibliográfica. *Pubvet*, Londrina, v. 4, n. 32, p. 924-930, 2010.

CORDELL, G. A.; QUINN-BEATTIE, M. L.; FARNSWORTH, N. R. The potential of alkaloids in drug discovery. *Phytotherapy Research*, v. 15, n. 3, p.183-205, 2001.

COSTA, A. F. *Farmacognosia*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2ª Ed., v. III, 1982.

CRUZ, Maria de Fátima Simão Jucá; PEREIRA, Gabriela Moysés. Relação estrutural-atividade de saponinas triterpenoidais: propriedades biológicas e aplicabilidades comerciais. *Revista Fitos*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 1-22, jun. 2023.

DASGUPTA, Pradeep; HAZRA, Banani; PANDA, Shilpi. Averrhoa Carambola: uma revisão atualizada. *International Journal of Pharma Research & Review*, v. 2, n. 7, p. 54-63, 2013.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. *Visão Acadêmica*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. *Wood: decay, pests and protection*. Londres: Chapman & Hall, 1993. 546 p.

ECHOcommunity. *Averrhoa carambola*. ECHO Global Farm. 2010.

EL HAZZAM, K.; HAFSA, J.; SOBEH, M.; MHADA, M.; TAOURIRTE, M.; KACIMI, K.; YASRI, A. An insight into saponins from Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): a review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, v. 25, n. 5, p. 1059, 2020.

FENGEL, D.; WEGENER, G.; *Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions*. 1. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FERREIRA JORGE, L. I.; SILVA, A. M.; GONZALES, E.; ALONSO, A. C. B. Averrhoa carambola L. (Oxalidaceae) e Achras sapota L. (Sapotaceae) – elementos morfo-anatômicos de orientação diagnóstica. *Revista Brasileira de Farmácia*, v. 86, n. 3, p. 104-108, 2005.

FINDLAY, W. P. K. The nature and durability of wood. In: FINDLAY, W. P. K. (Ed.). *Preservation of timber in the tropics*. Dordrecht: Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, 1985. p. 1-13.

GARCÍA, A. Á.; CARRIL, E. P-U. Metabolismo secundário de plantas. *Reduca (Biología)*, v. 2, n. 3, p. 119-145, 2009.

GOL, H.; SINGH, A.; PATEL, R.; SHARMA, M. Biométricas e características físico-químicas das caramboleiras (*Averrhoa carambola* L.): seleção e análise de cultivares para consumo e processamento industrial. *Scientia Agricola*, v. 58, n. 1, p. 91-99, 2015.

GRASEL, F. S., MARCELO, M. C. A., FERRÃO, M. F. A non-destructive, rapid and inexpensive methodology based on digital images for the classification of natural tannin extracts. *Analytical Methods*, v. 8, p. 644-649, 2016.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; LAU, D. Crescimento de isolados de *Cylindrocladium spathulatum* da erva mate de cinco regiões do estado do Paraná. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 38, p. 67-75, 1999.

GUANGHOU, S.; LEONG, L. P. Análise de antioxidantes polifenólicos na carambola utilizando cromatografia líquida e espectometria de massa. *Journal of Chromatography*, v. 1002, n. 1-2, p. 67-75, 2004.

GÜLÇİN, İlhami. Antioxidantes: uma revisão abrangente. *Archives of Toxicology*, Berlim, v. 99, p. 1893–1997, 2025.

GUNASEGARAN, R. Flavonoides e antocianinas de três espécies de Oxalidaceae. *Fitoterapia*, v. 63, n. 1, p. 89-90, 1992.

HADID, M.; LINÁN-ATERO, R.; TARAHI, M.; CHRISTODOULOU, M. C.; AGHABABAEI, F. The Potential Health Benefits of Gallic Acid: Therapeutic and Food Applications. *Antioxidants*, v. 13, n. 8, p. 1001, 2024.

HAIRSTON, N. G.; SMITH, F. E.; SLOBODKIN, L. B. Community structure, population control and competition. *The American Naturalist*, v. 94, p. 421–425, 1960.

HARBORNE, B. J.; WILLIAMS, A. C. Advances in flavonoids research since 1992. *Phytochemistry*, v. 55, p. 481-504, 2000.

HART, K.; PIMENTEL, D. Public health and costs of pesticides. In: PIMENTEL, D. (ed.). *Encyclopedia of pest management*. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 677–679.

HEIM, E. K.; TAGLIAFERRO, R. A.; BOBILYA, J. D. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 13, n. 1, p. 572-584, 2002.

HERAS, B. D. L.; RODRIGUEZ, B.; BOSCA, L.; VILLAR, A. M. Terpenoids: sources, structure elucidation and therapeutic potential in inflammation. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, v. 3, n. 2, p. 171–185, 2003.

HERBAZEST. *Carambola*. HerbaZest, 2022.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. *Wood preservation*. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1967. 433p.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER (Brasil). *Agrotóxicos*. Rio de Janeiro: Ministério da Saúde, 2019.

JANKOWSKY, I. P. Fundamentos de preservação de madeiras. *Documentos Florestais*, Piracicaba, n. 11, p. 1-12, 1990. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

KHANDABAE, R.; VAN REE, T. Tannins: classification and definition. *Natural product reports*, v. 18, p. 641-649, 2001.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. D.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. D. *Química da madeira*. Curitiba: Fupef, 2005.

KUMAR, V.; KUMAR, S. Terpenes and terpenoids: chemistry, biology, and applications. *Chemical Sciences Journal*, v. 11, n. 44, p. 1-15, 2022.

LELLES, J. G.; REZENDE, J. L. P. Considerações gerais sobre tratamento preservativo da madeira de eucalipto. *Informe Agropecuário*, v. 12, n. 141, p. 83-90, 1986.

LENNOX, A.; RAGOONATH, J. Carambola and bilimbi. *Fruits*, v. 45, n. 5, p. 497-501, set/out. 1990.

LI, Y.; FABIANO-TIXIER, A.-S.; CHEMAT, F. Essential oils as reagents in green chemistry. In: *SpringerBriefs in Molecular Science*. Cham: Springer, 2014.

LI, X.; WANG, X.; CHEN, D. CHEN, S. Antioxidant Activity and Mechanism of Protocatechuic Acid in vitro. *Functional Foods in Health and Disease*, v. 1, n. 7, 2011.

MAGALHÃES, Lana. Celulose. *Toda Matéria*, (s.d.).

MAJHI, S.; SAHA, S.; ROY, S. *Phytochemical screening and antimicrobial evaluation of leaf extract of Averrhoa carambola L.* Research Journal of Pharmacy and Technology, v. 12, n. 7, p. 3323–3326, 2019.

MEWALAL, R.; RAI, D. K.; KAINER, D.; CHEN, F.; KÜLHEIM, C.; PETER, G. F.; TUSKAN, G. A. Plant-derived terpenes: a feedstock for specialty biofuels. *Trends in Biotechnology*, v. 35, n. 3, p. 227–240, 2017.

MEYLEMANS, H. A.; QUINTANA, R. L.; HARVEY, B. G. Efficient conversion of pure and mixed terpene feedstocks to high density fuels. *Fuel*, v. 97, p. 560–568, 2012.

- MORESCO, H. H.; DOS SANTOS, G. A. G.; CASTILHO, M. R. C.; SILVA, R. A. T. Chemical constituents and evaluation of the toxic and antioxidant activities of *Averrhoa carambola* leaves. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, v. 22, n. 2, p. 319-324, 2012.
- MORILLO, A. C.; MANJARRES, E. H.; MORA, M. S. Afrosymetric method for quantifying saponins in *Chenopodium quinoa* Willd. from Colombia. *Brazilian Journal of Biology*, v. 82, p. 1-7, 2022.
- MONTEIRO, J. M. Taninos: uma abordagem da química à ecologia. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 5, p. 892-896, set./out. 2005.
- MORTON, Julia F. *Carambola*. In: *Fruits of warm climates*. Miami: Julia F. Morton, 1987.
- NAKASONE, Y. H.; PAUL, R. E. *Tropical Fruits*. Wallingford: CAB international, 1998.
- NORDBY, H. E.; HALL, T. N. Marcadores lipídicos na quimiotaxonomia de frutas tropicais: estudos preliminares com carambola e nêspera. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, v. 92, p. 298-300, 1979.
- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. *Textbook of wood technology: structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722 p.
- PELLETIER, S.W. (2001). *Alkaloids: Chemical and Biological Perspectives*. University of Georgia, USA, 656 p.
- PENG, Z.; ZHANG, W.; HONG, H.; LIU, L. Effect of luteolin on oxidative stress and inflammation in the human osteoblast cell line hFOB1.19 in an inflammatory microenvironment. *BMC Pharmacology and Toxicology*, v.25, n. 40, p. 1-14, 2024.
- PEROBELLI, J. E. *Agrotóxicos e saúde pública: discutindo riscos no crescimento agroindustrial brasileiro*. *Toxicologia Frontal*, [S. l.], v. 7, p. 1442801, 13 mar. 2025.
- PFAF – Plants For A Future. *Averrhoa carambola* – L. PFAF Plant Database, 2023. Disponível em: <https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Averrhoa+carambola>.
- PHILIPP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. *Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988. 964 p.

PICHERSKY, E.; LEWINSOHN, E. Convergent evolution in plant specialized metabolism. *Annual Review of Plant Biology*, v. 62, p. 549-566, 2011.

PIMENTEL, D. Herbivore population feeding pressure on plant host: feedback evolution and host conservation. *Oikos*, v. 53, p. 289–302, 1988.

PIMENTEL, D.; ACQUAY, H.; BILTONEN, M.; RICE, P.; SILVA, M.; NELSON, J.; LIPNER, V.; GIORDANA, S.; HOROWITZ, A.; D'AMORE, M. Assessment of environmental and economic impacts of pesticide use. In: PIMENTEL, D.; LEHMAN, H. (eds.). *The pesticide question: environment, economics and ethics*. New York: Chapman & Hall, 1993. p. 47–84.

PIMENTEL, D. Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, v.7, n.2, p.229–252, 2005.

PUBCHEM. *Gallic acid*. Bethesda (MD): National Library of Medicine.

PubChem. Glycyrrhetic Acid, CID 10114. Disponível em: PubChem Compound Database. National Center for Biotechnology Information.

PUBCHEM. *Limonene*. Bethesda (MD): National Library of Medicine.

QIU, Shi; SUN, Hui; ZHANG, Ai-hua; XU, Hong-ying; WANG, Xi-Jun. Natural product alkaloids: basic aspects, biological roles, and future perspectives. *Chinese Journal of Natural Medicines*, [S.l.], v. 12, n. 6, p. 401–406, 2014.

RAGANAYAKI, S.; SINGH, R.; SINGH, A. K. A análise química da casca de *Averrhoa carambola*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, Section A*, v. 50, p. 61-63, 1980.

RAMADAN, N. S. et al. Nutrient and sensory metabolites profiling of *Averrhoa carambola* L. (starfruit) in the context of its origin and ripening stage by GC/MS and chemometric analysis. *Molecules*, v. 25, n. 10, p. 2423, 2020.

RASKIN, I. et al. Plants and Human Health in the Twenty-Fist Century. *Trends Biotechnology*, v. 20, n. 12, p. 522-531, 2002.

REN, Z.; ZHANG, H.; WANG, Z.; CHEN, X.; YANG, L.; JIANG, H. Progresso em imunoensaios de alcaloides tóxicos em medicamentos derivados de plantas: uma revisão. *Toxins (Basel)*, Basel, v. 14, n. 3, p. 165, 23 fev. 2022.

REZENDE, F. M. de; ROSADO, D.; MOREIRA, F. A.; CARVALHO, W. R. S. de. *Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas*. Laboratório de Ensino de Botânica, 2016. p. 93.

RICHTER, E. D. Acute human pesticide poisonings. In: PIMENTEL, D. (ed.). *Encyclopedia of pest management*. New York: Dekker, 2002. p. 3–6.

RIGOTTO, R. M.; AGUIAR, A. C. P. Invisibilidade ou invisibilização dos efeitos crônicos dos agrotóxicos à saúde? Desafios à ciência e às políticas públicas in *Observatório Internacional de Capacidades Humanas, Desenvolvimento e Políticas Públicas: estudos e análises 2*. Brasília: Ipea, 2015. p. 47–90.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. (Ed.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton: CRC, 2005. p. 35-74.

RUMPF, Jessica; BURGER, René; SCHULZE, Margit. Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin–Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules*, Amsterdam, v. 233, p. 123470, 1 abr. 2023.

SANTANA, A. L. B. D. *Estudo Químico, Antitermítico e Antifúngico da madeira de lei Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan var. Cebil (Griseb.) von Reis Alt. (Angico-de-Caroço)*. 2011. 187 f. Tese (doutorado em Química) – Centro de Ciências Exatas da Natureza, Departamento de Química Fundamental, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

SANTOS, Daniel Sousa dos; RODRIGUES, Mayara Mikelle Farias. Atividades farmacológicas dos flavonoides: um estudo de revisão. *Estação Científica (UNIFAP)*, Macapá, v. 7, n. 3, p. 29-35, set/dez. 2017.

SANTOS, M. R. V.; MOREIRA, F. V.; FRAGA, B. P.; SOUZA, D. P. de; BONJARDIM, L. R.; QUINTANS-JUNIOR, L. J. Cardiovascular effects of monoterpenes: a review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, n. 4, p. 764–771, 2011.

SCHEFFER, T. C. Microbiological degradation and its causal organisms. In: NICHOLAS, D. D. (Ed.). *Wood deterioration and its prevention by preservative treatments*. Syracuse: Syracuse University Press, 1973. v. 2, p. 31-106.

SGAI, R. D. *Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras*. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, 2000.

SHAHJAHAN, M.; ALAM, M. S.; HOSSAIN, M. A. *Phytochemical screening and evaluation of antioxidant and antimicrobial activities of Averrhoa carambola L. leaf and fruit extracts*. Current Research in Biochemistry and Biotechnology, v. 5, n. 2, p. 1–7, 2023.

SILVA, L. A. V. *Influência da piridina no doseamento de flavonoides com cloreto de alumínio de plantas medicinais da caatinga*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

SILVA, J. S. da; OLIVEIRA, A. P. de; ARAÚJO, N. L.; FERNANDES, D. S.; SOUZA VIEIRA, D. C. de; SILVA, F. C. da; SILVA, M. A. da; RIBEIRO, A. L. M.; SILVA, E. D. da. *Phytochemical characterization, antioxidant potential and antimicrobial activity of extracts of Averrhoa carambola L.* Brazilian Journal of Biology, v. 80, n. 2, p. 430–437, 2020.

SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V.; MENTZ, L. A.; PALERMO, J. A.; MULLER, S. S.; BOLIGON, A. A.; PIZZOLATTI, M. G. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; Florianópolis: Ed. Universidade/UFSC, 2000.

TEIXEIRA, H.A.T.; DURIGAN, L.C.D.; SILVA, J.A.A. Caracterização pós-colheita de seis cultivares de carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.23, n.3, p.546-550, 2001.

TEIXEIRA, Gustavo H. A.; RIVERA, José O.; OCHOA, Jesús; WELLE, Robert L.; MATTINGLY, J. E. Quality of fresh-cut carambola as affected by washing and post-cutting treatment. *Postharvest Biology and Technology*, v. 45, n. 1, p. 55-61, 2007.

TETALI, S. D. Terpenes and isoprenoids: a wealth of compounds for global use. *Planta*, v. 249, n. 1, 2019.

THE RIO TIMES. *Brasil supera EUA e China e se torna o maior consumidor de agrotóxicos do mundo*. Rio de Janeiro, 25 abr. 2023.

THOMAS, S.; PATIL, D. A.; PATIL, A.; CHANDRA, N. Avaliação farmacognóstica e análise físico-química do fruto de *Averrhoa carambola*. *Journal of Herbal Medicine & Toxicology*, v. 2, n. 2, p. 51-54, 2008.

TIWARI, K. P.; MASOOD, M.; MINOCHA, P. K. Constituintes químicos de *Gemlina phillipinensis*, *Adenocalymna nitida*, *Allamanda cathartica*, *Averrhoa carambola* e *Maba buxifolia*. *Journal of the Indian Chemical Society*, v. 56, p. 944, 1979.

VIEIRA, Laura Valadão; SCHMIDT, Ana Paula; BARBOSA, Antônio Amaral; FEIJÓ, Josiane de Oliveira; BRAUNER, Cássio Cassal; RABASSA, Viviane Rohrig; CORRÊA, Marcio Nunes; SCHMITT, Eduardo; DEL PINO, Francisco Augusto Burkert. Utilização de taninos como aditivo nutricional na dieta de ruminantes. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 1-9, 2020.

WANG, G.; TANG, W.; BIDIGARE, R. R. Natural products. In: ZHANG, L.; DEMAIN, A. L. (eds.). *Natural products*. Totowa: Humana Press, 2005. P. 197-227.

WARDROP, A. B. Occurrence and formation in plants. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. *Lignins: occurrence, formation, structure and reactions*. New York: John Wiley, 1971. p. 19-32.

WILLEITNER, H. *Laboratory tests on the natural durability of timber: methods and problems*. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, 1984. 11 p.

WILSON III, L. M. Cinética e modelagem de secagem de carambola (*Averrhoa carambola* L.) em secador de bandeja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 2, p. 235-240, 1990.

WINK, M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, v. 64, n. 1, p. 3-19, 2003.

YASAWARDENE, P. et al. Mechanisms of star fruit (*Averrhoa carambola*) toxicity: A mini-review. *Toxicon*, v. 187, p. 198-202, 2020.

ZHANG, Jian; CHENG, Yi; ZHENG, Yan; ZHU, Qiang; LI, Peng; WEI, Xuejiang. Alkyl phenols from the wood of *Averrhoa carambola*. *Chemistry of Natural Compounds*, [S. l.], v. 51, n. 6, p. 1054–1056, 2015. DOI: 10.1007/s10600-015-1483-5.

ZHOW, W.; HU, M.; HU, J.; DU, Z.; SU, Q.; XIANG, Z. Luteolin Suppresses Microglia Neuroinflammatory Responses and Relieves Inflammation-Induced Cognitive Impairments. *Neurotoxicity Research*, v. 39, p. 1800-1811, 2021.