



CAROLINA APARECIDA DOS SANTOS

**ANÁLISE QUANTITATIVA E CARACTERIZAÇÃO DE
TANINOS EXTRAÍDOS DA CASCA DO CAJUEIRO
(*Anacardium occidentale*) PARA APLICAÇÕES EM ADESIVOS
NATURAIS**

LAVRAS-MG

2024

CAROLINA APARECIDA DOS SANTOS

**ANÁLISE QUANTITATIVA E CARACTERIZAÇÃO DE TANINOS EXTRAÍDOS DA
CASCA DO CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*) PARA APLICAÇÕES EM
ADESIVOS NATURAIS**

Tese apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Junior

Coorientador

Prof. Dra Thaís Brito Sousa

Prof. Dra Flávia Maria Silva Brito

Prof. Dr. Fábio Akira Mori

LAVRAS-MG

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha
Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados
informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Carolina Aparecida dos.

Análise quantitativa e caracterização de taninos extraídos da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*) para aplicações em adesivos naturais : Quantitative analysis and characterization of tannins extracted from cashew bark (*Anacardium occidentale*) for applications in natural adhesives / Carolina Aparecida dos Santos. - 2024.

51 p.

Orientador(a): José Benedito Guimarães Junior.

Coorientador(a): Fábio Akira Mori, Flávia Maria Silva Brito, Thaís Brito Sousa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2024.
Bibliografia.

1. cajueiro. 2. tanino condensado. 3. extração. I.
Guimarães

CAROLINA APARECIDA DOS SANTOS

**ANÁLISE QUANTITATIVA E CARACTERIZAÇÃO DE TANINOS EXTRAÍDOS DA
CASCA DO CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*) PARA APLICAÇÕES EM
ADESIVOS NATURAIS**

**QUANTITATIVE ANALYSIS AND CHARACTERIZATION OF TANNINS
EXTRACTED FROM CASHEW BARK (*Anacardium occidentale*) FOR
APPLICATIONS IN NATURAL ADHESIVES**

Tese apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e Nanocompósitos Lignocelulósicos para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 14 de novembro de 2024.

Dr. José Benedito Guimarães Júnior – UFLA

Dr. Lorrان de Sousa Arantes – UFLA

Dr.^a Bárbara Maria Ribeiro Guimarães de Oliveira – UFLA

Dr.^a Evelize Aparecida Amaral – UFLA.

Orientador

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Junior

Coorientador

Prof. Dra Thaís Brito Sousa

Prof. Dra Flávia Maria Silva Brito

Prof. Dr. Fábio Akira Mori

LAVRAS - MG

2024

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado viver este sonho e ter me dado forças para nunca desistir.

Aos meus pais, Vitor e Letícia, pelo amor, confiança e por sonharem junto comigo.

Aos meus avós, Elidia e João, por todo apoio, carinho e amor. E os demais familiares, pelo apoio e as orações.

Aos meus amigos, que sempre me apoiaram a buscar os meus sonhos e viveram este comigo.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Benedito e aos meus coorientadores Prof. Dr. Fábio Akira Mori, Prof. Dra. Fátia Maria Silva Brito e a Prof. Dra. Thaís Brito de Sousa, por todos os ensinamentos, confiança e dedicação. Muita gratidão a vocês.

Aos meus amigos da UEPAM, que me acompanharam, auxiliaram e pela amizade. Muito obrigada!

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade proporcionada, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e por fim, a todos que participaram desta etapa da minha vida.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) –Código de Financiamento 001.

RESUMO

Em busca de alternativas renováveis para a síntese de adesivos, os taninos têm sido uma alternativa promissora, uma vez que as extrações de cascas de árvores vêm sendo amplamente utilizadas para substituir produtos petroquímicos, como os adesivos para painéis de madeira. *Anacardium occidentale*, espécie do cajueiro nativa do Nordeste do Brasil, é tradicionalmente utilizada como alimento através do pseudofruto, enquanto seus extratos possuem aplicações terapêuticas. Este trabalho visa quantificar o rendimento de taninos condensados da casca do cajueiro e avaliar sua aplicabilidade em adesivos naturais para colagem de painéis laminados. Foram realizadas extrações de taninos em água e em soluções de sulfito de sódio (1%, 2%, 3% e 4%) para comparação. As cascas também foram analisadas quanto à sua anatomia e composição química (extrativos, lignina, cinzas e suberina), bem como por meio da análise dos compostos fenólicos e Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Os resultados indicaram que a extração com 3% de sulfito de sódio proporcionou taninos com índice de Stiasny de 73,35%, demonstrando maior pureza em relação aos demais tratamentos. A análise FTIR confirmou a estrutura polifenólica dos taninos condensados. Com isso, concluímos que os taninos da casca do cajueiro são promissores para serem aplicados em adesivos naturais, com destaque para a eficácia da sulfitação na remoção desses taninos.

Palavras-chave: cajueiro; cascas; tanino condensado; extração; sulfitação.

ABSTRACT

In the search for renewable alternatives for the synthesis of adhesives, tannins have been a promising alternative, since extractions from tree bark have been widely used to replace petrochemical products, such as adhesives for wood panels. *Anacardium occidentale*, a species of cashew tree native to Northeastern Brazil, is traditionally used as food through its pseudofruit, while its extracts have therapeutic applications. This study aims to quantify the yield of condensed tannins from cashew bark and evaluate its applicability in natural adhesives for gluing laminated panels. Tannin extractions were performed in water and in sodium sulfite solutions (1%, 2%, 3% and 4%) for comparison. The barks were also analyzed for their anatomy and chemical composition (extractives, lignin, ash and suberin), as well as through the analysis of phenolic compounds and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results indicated that extraction with 3% sodium sulfite provided tannins with a Stiasny index of 73.35%, demonstrating greater purity compared to the other treatments. FTIR analysis confirmed the polyphenolic structure of the condensed tannins. Therefore, we conclude that cashew bark tannins are promising for use in natural adhesives, with emphasis on the effectiveness of sulfitation in removing these tannins.

Keywords: cashew bark; bark; condensed tannin; extraction; sulfitation.

Impactos sociais, tecnológicos, econômicos e culturais

O estudo avaliou o potencial de utilização dos taninos extraídos da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*) para formulação de adesivos naturais, resultando em contribuições relevantes nos âmbitos ambiental, tecnológico e socioeconômico. A extração utilizando 3% de sulfito de sódio apresentou o maior rendimento e pureza dos taninos, destacando-se como uma alternativa viável e sustentável aos adesivos sintéticos convencionais. A utilização desses adesivos permite a redução do uso de formaldeído, um composto de origem petroquímica associado a riscos ambientais e à saúde humana. A valorização dos taninos da casca do cajueiro impulsiona o aproveitamento de um subproduto agroindustrial, promovendo a economia circular e agregando valor às cadeias produtivas regionais. Além disso, a caracterização química e anatômica das cascas contribui para o avanço do conhecimento sobre essa matéria-prima, ampliando suas possibilidades de aplicação na indústria de biocompósitos. Os resultados desta pesquisa reforçam a importância de fontes renováveis na produção de materiais sustentáveis, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente os objetivos 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Dessa forma, este trabalho não apenas gera inovação tecnológica no setor de adesivos e painéis de madeira, mas também promove impacto positivo na sustentabilidade da indústria e no desenvolvimento socioeconômico das comunidades envolvidas na produção do cajueiro.

Social, technological, economic and cultural impacts

The study evaluated the potential use of tannins extracted from cashew tree bark (*Anacardium occidentale*) for the formulation of natural adhesives, resulting in relevant contributions in the environmental, technological and socioeconomic spheres. The extraction using 3% sodium sulfite presented the highest yield and purity of tannins, standing out as a viable and sustainable alternative to conventional synthetic adhesives. The use of these adhesives allows the reduction of the use of formaldehyde, a petrochemical compound associated with environmental and human health risks. The valorization of tannins from cashew tree bark boosts the use of an agro-industrial byproduct, promoting the circular economy and adding value to regional production chains. In addition, the chemical and anatomical characterization of the barks contributes to the advancement of knowledge about this raw material, expanding its application possibilities in the biocomposites industry. The results of this research reinforce the importance of renewable sources in the production of sustainable materials, in line with the UN Sustainable Development Goals (SDGs), especially goals 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), 12 (Responsible Consumption and Production) and 13 (Climate Action). Thus, this work not only generates technological innovation in the adhesives and wood panel sector, but also promotes a positive impact on the sustainability of the industry and the socioeconomic development of the communities involved in cashew production.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1: Modelo estrutural de tanino condensado	15
Figura 2: Gráfico de período de floração e colheita	17

SEGUNDA PARTE

Fig. 1. (A) Aspectos macroscópicos da casca externa de <i>Anacardium occidentale</i> L.; B) Casca interna da espécie evidenciando floema condutor (1), floema não condutor (2) e ritidoma (3), resina (seta). Barra de escala = 100 µm	38
Fig. 2. Plano transversal de <i>Anacardium occidentale</i> L.; (A) ritidoma (R), esclereide (E) (B) Esclereide (E);(C) Canal resinífero (seta) ; (Barra de escala (A-C) = 100 µm.....	39
Fig. 3. (A) Plano tangencial, Raios (R); (B) Plano radial Raios (R); (C) Plano transversal, Elemento de tubo (ET);(D) Cristais de oxalato de cálcio (seta); (Barra de escala (A-C) = 100 µm.....	40
Fig. 4. (A) Fibra (F);(B) Elemento de tubo (ET); (Barra de escala (A-C) = 100 µm.....	41
Fig. 5. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	45

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE

Tabela 1. Composição química somativa das cascas de <i>Anacardium occidentale</i> L	37
Tabela 2. Valores médios de fenóis totais, flavonoides e taninos condensados extraídos em: etanol:água, metanol:água e acetona:água.....	41
Tabela 3. Valores médios do teor de sólidos (TS), rendimento de sólidos (RS), índice de stiasny (IS), teor de tanino condensado (TTC) e teor de compostos não tânicos.....	43

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	12
1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVO GERAL	13
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3. REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1 Taninos	14
3.2 Cajueiro.....	16
3.3 Adesivos sintéticos	17
3.4 Adesivos à base de taninos.....	18
3.5 Adesivos reforçados com nanopartículas	19
REFERÊNCIAS.....	21
SEGUNDA PARTE	30
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.1 Coleta e preparo do material.....	32
2.2 Caracterização química da casca.....	33
2.3 Anatomia da casca.....	33
2.4 Compostos fenólicos da casca.....	34
2.5 Extração e quantificação dos taninos	34
2.6 Teor de sólidos totais.....	35
2.7 Índice de Stiasny	35
2.8 Rendimento em sólidos	35
2.9 Teor de sólidos não tânico.....	36
2.10 Teor de taninos condensados (tanino em pó).....	36
2.11 Análise de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	36
2.12 Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	36
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	36
3.1 Composição química somativa da casca.....	36
3.2 Estrutura e anatomia da casca.....	38
3.3 Compostos fenólicos da casca.....	41
3.4 Extração dos taninos	42
3.5 FTIR	44
4. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

As preocupações ambientais impulsionam o desenvolvimento de produtos de base biológica cujos objetivos são reduzir o consumo de recursos fósseis, extinguir ou atenuar o uso de formaldeído, e também colaborar com a manutenção da sustentabilidade da indústria de painéis de madeira. Os painéis de madeira podem ser descritos como produtos produzidos de elementos de madeira, como por exemplo as lâminas, sarrafos, partículas e fibras, originados a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de adesivos (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Para a produção dos painéis busca-se a utilização de adesivos de fácil manuseio e que tenham um bom desempenho mecânico, de modo que os adesivos que dominam o mercado da indústria de adesivos para madeira são o fenol-formaldeído e a ureia-formaldeído (*Moubarik et al.*, 2010). Embora bastante difundidos, esses adesivos possuem em sua composição um componente predominante de caráter tóxico e potencialmente cancerígeno, o formaldeído (*Sain et al.*, 2021; *Swenberg et al.*, 2013). Além disso, esses adesivos são de origem petrolífera, que faz com que a colagem seja o setor de maior custo na produção de painéis (*Li et al.*, 2018).

Buscando alternativas para as sínteses dos adesivos, visando a utilização de matéria-prima renovável, os taninos são uma opção propícia (*Luckeneder et al.*, 2016). Além das aplicações na produção de adesivos e anticorrosivos na indústria de madeira, os taninos também podem atuar na absorção de minerais, precipitação de proteínas, produção de tinta de ferro-gás, recuperação de urânio da água do mar, remoção de mercúrio e metilmercúrio de solução, e como elemento significativo no curtimento de couro (*Aires*, 2020). Os taninos são polifenóis resultantes do metabolismo secundário das plantas, podendo ser encontrados em diversas partes do indivíduo, como folhas, frutos e cascas, com concentrações variando de acordo com a idade, estrutura da planta, fenofase e local de coleta (*Mueller Harvey*, 2001; *Sartori et al.*, 2014; *Azevedo et al.*, 2017; *Silva et al.*, 2017).

Os taninos extraídos das cascas de árvores vêm sendo utilizados para substituir alguns produtos petroquímicos em razão da sua semelhança com a estrutura do fenol (*Sauget et al.*, 2014; *Zhang et al.*, 2019). Contudo, apesar de serem promissores, os adesivos tânicos

apresentam elevada viscosidade, o que pode comprometer a resistência da linha de cola (César, 2011). Para superar essa limitação, diversas estratégias vêm sendo exploradas, como a modificação química dos taninos e a combinação com outros polímeros naturais, buscando otimizar suas propriedades adesivas e melhorar o desempenho mecânico dos painéis (Jang e Li, 2015; Carlesso *et al.*, 2021). Essas abordagens permitem expandir a aplicação dos adesivos à base de taninos, tornando-os mais competitivos em relação às alternativas convencionais.

Uma espécie que ocupa área estimada de 425,2 mil de hectares no Brasil, dos quais 63,9% estão no Ceará, 17,2 % no Piauí e 11,7% no Rio Grande do Norte, o cajueiro dispõe de usos que vão além do seu pseudofruto como alimento, aproveitando-se também as nozes, o suco da fruta, e os extratos que contêm aplicações terapêuticas medicinais (Novaes e Novaes, 2021). No Nordeste, estima-se que 424 mil de hectares são ocupados pela espécie, equivalendo a 99,7% da área nacional colhida (BRAINER, 2022). Em comparação com seu pseudofruto, a casca do cajueiro é mais rica em compostos fenólicos (Chaves *et al.*, 2010), o que o torna um grande produto com potencial para diversas aplicações.

Considerando a ausência de estudos que comprovem o potencial do cajueiro para a extração de taninos destinados à produção de adesivos, bem como a ampla disponibilidade dessa espécie no Brasil, este trabalho tem como objetivo caracterizar e quantificar os taninos extraídos de sua casca. A pesquisa se justifica pela escassez de matéria-prima para adesivos naturais, pelo impacto desse fator no custo final dos produtos e pela predominância de adesivos derivados do petróleo, cuja produção está cada vez mais ameaçada pelo esgotamento de suas reservas.

2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é caracterizar a composição das cascas do cajueiro e avaliar o potencial dos taninos extraídos para aplicação na formulação de adesivos naturais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a melhor porcentagem de sulfitação nas extrações dos taninos;
- b) Avaliar a quantificação do rendimento de taninos condensados extraídos da casca de cajueiro;
- c) Verificar as características anatômicas e a composição química somativa das cascas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Taninos

A palavra tanino tem origem na antiga palavra Celtic para carvalho e foi introduzida pelo Seguin, que explicava a capacidade de conversão dos extratos de plantas em pele de couro (Hagerman, 2002). Os taninos são polímeros naturais, que está presente em vários lugares, como no metabolismo secundário polifenólicos das plantas superiores, tecidos moles, como as folhas, agulhas e cascas (Morisada *et al.*, 2011; Hernes e Hedges, 2004; Arbenz; Averous, 2015). Depois da celulose, hemicelulose e lignina, os taninos são considerados um dos compostos mais abundantes extraídos da biomassa, folhas, raízes, cascas, sementes, madeira e frutos (Arbenz; Averous, 2015; Khanbabaee; Van Ree, 2001).

Os taninos estão presentes entre os alimentos, como por exemplo nas uvas, amoras, morangos, nozes, castanhas de caju, avelãs, mangas e chá (Clifford e Scalbert, 2000). Nas plantas, eles funcionam como defensores, protegendo as árvores de fungos, patógenos, insetos e animais herbívoros (De Bruyne *et al.*, 1999; Hagerman *et al.*, 1998; Khanbabaee; Van Ree, 2001; Sharma, 2019). Os taninos são utilizados principalmente no curtimento de couro, na fabricação de bebidas, na área farmacêutica, no tratamento de água, como conservantes naturais para a madeira e também para produzir adesivo (Shirmohammadli *et al.*, 2018).

Normalmente, os taninos são divididos em dois grupos principais, ou seja, taninos condensados e taninos hidrolisáveis. Os taninos condensados são compostos de flavonóides (flavan 3-ol ou flavan 3,4-diol) sem núcleo de açúcar, porém, os taninos hidrolisáveis são compostos de ácidos elágico e gálico com um núcleo de açúcar principalmente glicose (Khanbabaee; Van Ree, 2001; Sharma, 2019).

Comparando esses dois grupos de taninos, os hidrolisáveis têm fontes limitadas na natureza em comparação com os taninos condensados (Haslam, 1982; Hillis, 1985). Portanto, os taninos condensados estão dominando o mercado mundial consistindo mais de 90% do total de taninos comerciais (Filgueira *et al.*, 2017; Pizzi, 2008).

Taninos condensados, como mostra a Figura 1, são constituídos por unidades C6, C3 e C6 do flavanóide sistema, composto por dois anéis aromáticos, unidos por um anel de pirano. As propriedades químicas dos taninos condensados são amplamente determinadas por três fatores: (1) o padrão de hidroxilação na unidade de flavanol; (2) a estereoquímica nos três

centros quirais presentes no anel heterocíclico; e (3) a localização da ligação interflavonóide (Tahir *et al.*, 2019).

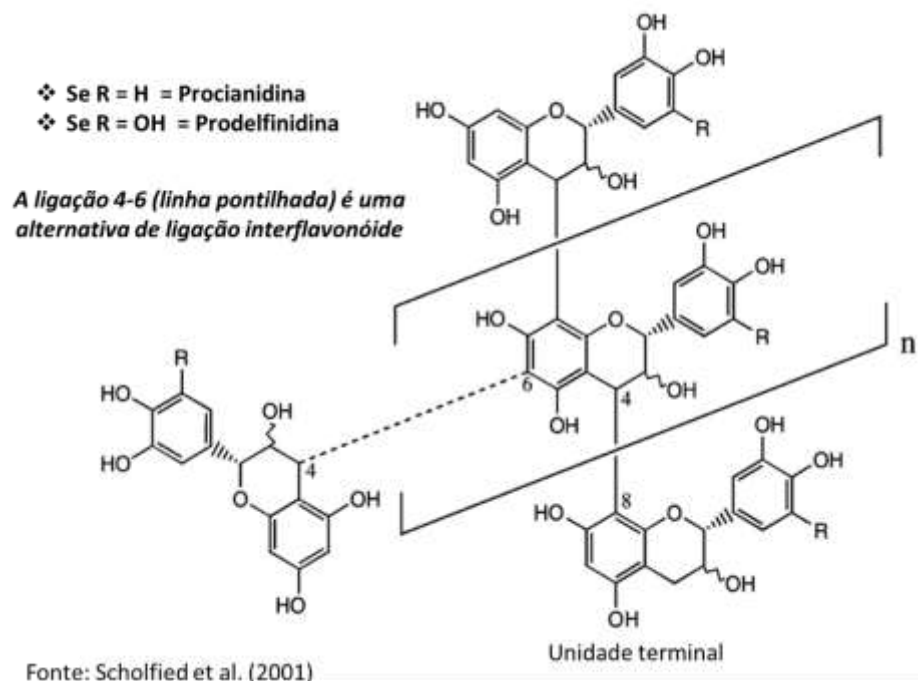


Figura 1: Modelo estrutural de tanino condensado

Fonte: Scholfield *et al.*, 2001.

O rendimento, a pureza e composição dos extratos dependem geralmente de vários parâmetros como: a fonte vegetal, técnica empregada, tempo de extração, temperatura (Bacelo *et al.*, 2016). Desta forma, a extração de taninos é um processo que consiste em um ponto chave fundamental para sua reutilização, valorização e sua produção sustentável (Bacelo *et al.*, 2017).

De acordo com Pizzi (1983) os principais sais utilizados para extração de taninos são o sulfito de sódio (Na_2SO_3), o carbonato de sódio (Na_2CO_3), o hidróxido de sódio (NaOH), o dissulfito de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) e o bissulfito de sódio (NaHSO_3). A sulfitação é um dos métodos mais antigos e usuais de extração de taninos, sendo especialmente adequada para a produção de extratos tânicos destinados à síntese de adesivos fenólicos. Porém, sabe-se também que a utilização do sulfito de sódio bem como dos demais sais inorgânicos são de grande importância no processo de extração por aumentar os sítios hidrofílicos dos taninos, proporcionando assim maior extração dos mesmos (Silva, 2001).

As principais características dos taninos correspondem a sua natureza fenólica, em razão a sua capacidade antioxidante está ligada aos anéis fenólicos presentes em sua estrutura, que

podem atuar como sequestradores de elétrons para aprisionar íons e radicais (Hoyos-Martínez *et al.*, 2019).

3.2 Cajueiro

O cajueiro, nome popular da *Anacardium occidentale* é uma espécie vegetal nativa do nordeste brasileiro que é amplamente aproveitada pela população, uma vez que, do cajueiro, pode-se fazer uso de muitas partes da planta com diversas finalidades, sejam elas medicinais ou alimentares. O pedúnculo, seu pseudofruto, é chamado de caju, e apresenta coloração variada em tons de amarelo a vermelho. Junto a ele, tem-se a amêndoa da castanha de caju que, em seu interior, que armazena a castanha. O caju e a castanha são apreciados na culinária nordestina, tanto in natura quanto em outros produtos alimentícios (Novaes; Novaes, 2021).

A espécie apresenta cerca de 60 a 80 gêneros e 600 espécies distribuídas de forma pantropical, mas com alguns gêneros nas regiões temperadas do Norte e alguns nativos das costas semiáridas do Brasil, sendo então economicamente importante (Lima *et al.*, 2010). O cajueiro produz em seu tronco uma resina amarela, conhecida como goma de caju, que pode substituir a goma arábica utilizada nas indústrias de papel e farmacêutica. A madeira do cajueiro é durável e de cor rosada, podendo ser utilizada na construção civil, marcenaria, entre outros (Brasil, 2019).

A espécie é cultivada principalmente na Índia, Vietnã, Costa do Marfim, Guiné-Bissau, Tanzânia, Benin, Brasil e outros países da África Central e Ocidental e Sudeste da Ásia, África do Sul e Austrália (Global Cashew Council, 2021). O Brasil se encontra entre um dos maiores produtores de caju do mundo e, os produtos industrializados são a principal forma de consumo da fruta dentro e fora do País, tanto da castanha (fruto verdadeiro) quanto do pedúnculo (falso fruto), que favorece o crescimento da fruticultura brasileira para a economia (Queiroz *et al.*, 2010).

A produção mundial de castanha de caju atualmente varia entre 720.000 e 790.000 toneladas métricas por ano (safras 2015/16-2019/20), tendo a Índia, com uma produção anual de 170.000-195.000 toneladas, ocupando o primeiro lugar, seguida pela Costa do Marfim, Vietnã e Tanzânia, com números de 149.000; 82.000 e 53.000 MT, respectivamente (Oliveira *et al.*, 2020; Global Cashew Council, 2021).

Um dos procedimentos do manejo aplicados aos cajueiros são as podas, que conforme Embrapa (2021) os pomares de caju jovens devem ser manejados de forma que forme um dossel

compacto, com grande superfície produtiva, livre de emaranhados e competição de plantas daninhas, principalmente, para facilitar a colheita mecanizada. A adubação e a calagem, que podem ser realizadas manual ou mecanicamente, devem ser executadas conforme a necessidade, assim como a inspeção do sistema de irrigação quando a lavoura for irrigada. Comumente, essas podas limitam-se à remoção de partes da árvore atacadas por insetos ou doenças, juntamente com galhos secos e quebrados.

A floração acontece de dezembro a abril no hemisfério norte e de junho a dezembro no hemisfério sul, principalmente no período de setembro a novembro, de acordo com a Figura 2. A colheita acontece durante o tempo seco e as nozes são colhidas apenas quando as frutas estejam totalmente maduras (Global Cashew Council, 2021). A frutificação do cajueiro é periférica, principalmente nos dois terços inferiores da planta, sendo que a eliminação dos ramos inferiores deve ser limitada (Montenegro e Parente, 2018).

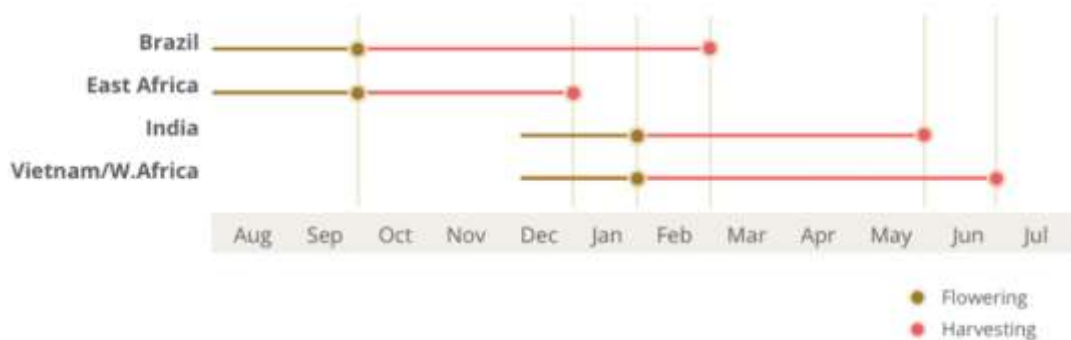


Figura 2: Gráfico de período de floração e colheita

Fonte: Global Cashew Council, 2021.

3.3 Adesivos sintéticos

Os adesivos são um dos principais constituintes na produção de painéis, em razão das propriedades físicas e mecânicas que proporciona, sendo capaz de conceder diferentes desempenhos variando a composição química e a concentração na mistura de partículas (Barbirato *et al.*, 2018; Mantanis *et al.*, 2018). Os adesivos para madeira têm uma função muito

importante na indústria produção de painéis à base de madeira. Adesivos sintéticos à base de formaldeído, como uréia-formaldeído, fenol-formaldeído (PF) e resinas de melamina-formaldeído, são geralmente usadas para produção de compósitos de madeira (Faris *et al.*, 2016). Essas resinas têm sido aplicadas na indústria de painéis devido às suas excelentes propriedades de colagem, boa resistência à água (Pizzi *et al.*, 2020).

O primeiro adesivo sintetizado foi o fenol-formaldeído no ano de 1929, logo depois em 1931 a ureia-formaldeído. A ureia apresenta grande aplicabilidade na indústria moveleira em todo o mundo, sendo que 90% dos painéis de madeira utiliza essa resina, devido ao seu baixo custo em relação as outras. O fenol tem como sua característica principal a alta resistência à umidade, sendo considerada como de uso exterior. Sua utilização se destina principalmente a produção de compensados a prova d'água, painéis de fibras, painéis aglomerados estruturais dos tipos “waferboard” e “OSB” (Iwakiri; Trianoski, 2020).

Os problemas ocasionados pela emissão de formaldeído ao ambiente e ao homem são alvos crescentes de pesquisa, em consequência dos efeitos prejudiciais que podem provocar. No entanto, o mundo tem buscado cada vez mais fontes alternativas para produzir adesivos utilizando matéria prima renovável (Carvalho *et al.*, 2014). O formaldeído é um agente de reticulação utilizado na produção, fixação e na cura dos adesivos (Solt *et al.*, 2019). Ele é visto como composto cancerígeno humano, devido sua liberação na síntese dos adesivos, na aplicação nos painéis de madeira e podendo ocorrer a liberação após a fabricação (Ferreira *et al.*, 2019).

3.4 Adesivos à base de taninos

O tanino e a lignina são considerados recursos naturais renováveis, e são de particular interesse em resinas fenólicas devido à sua estrutura química (Faris *et al.*, 2016), podendo ser utilizados desde a modificação até na síntese de adesivos. A síntese ocorre pela estrutura polifenólica e pelos sítios nucleofílicos presentes (Wu *et al.*, 2023). Essa estrutura polifenólica dos taninos proporciona a aplicação destes na indústria de adesivos.

Os taninos estão sendo utilizados como substituto parcial do fenol para sintetizar e reduzir a taxa de uso de fenol, como modificadores ou para substituir alguma ureia para sintetizar resinas de condensação de tanino-ureia-formaldeído (TUF), que da mesma forma melhoram a resistência adesiva de adesivos de resina de UF além de reduzir a emissão de formaldeído do UF (Peng *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2014).

Além da finalidade do uso de taninos na síntese de resinas convencionais à base de formaldeído, os taninos são capazes de complexar fortemente com proteínas por meio de interações hidrofóbicas ou ligações de hidrogênio não covalentes formando, portanto, uma rede bem reticulada por meio de interações intermoleculares entre os grupos hidroxila fenólicos de taninos e proteínas (Han *et al.*, 2020; Van Buren; Robinson, 1969).

A elevada reatividade com o formaldeído acontece juntamente do anel A, resorcinólico ou floroglucinólico, podendo atingir em condições similares velocidades de reações mais rápidas, do que as do fenol, conseguindo atingir reações de 10 a 50 vezes mais rápidas (PIZZI, 2003). O aldeído comumente utilizado na preparação, ajuste e na cura de adesivos tânicos é o formadeído. É normalmente adicionado à solução de extrato de tanino no pH necessário, preferencialmente em sua forma polimérica de para-formaldeído, que é capaz de despolimerização razoavelmente rápida sob condições alcalinas (KIM, 2009).

Adesivos produzidos à base de taninos liberam níveis relativamente baixos de formaldeído quando comparados com o fenol formadeído (composto petroquímico), em razão da sua alta reatividade devido sua estrutura (Pizzi, 2003; Hoong *et al.*, 2011). Além do seu potencial em reduzir as emissões de componente formaldeído, os taninos apresentam a característica de serem resistentes a ataques de fungos (Krung; Tobisch, 2010). E a técnica de sulfitação dos taninos é um método viável para a produção de adesivos, devido ao processo diminuir a viscosidade dos extratos tânicos e também aumentar sua solubilidade em água (Pizzi; Mittal, 1994).

3.5 Adesivos reforçados com nanopartículas

O grande potencial e a disponibilidade de mercado para os painéis de madeira reconstituída, faz com que se torne cada vez mais frequente o interesse em desenvolver pesquisas com painéis. Vários materiais vêm sendo estudados para a produção de chapas, seja na substituição total ou na substituição parcial da madeira. E conseguir acrescentar novos materiais tecnológicos respeitando as condições ambientais, sociais e econômicas, com base na sustentabilidade, é um desafio mundial e primordial (Lima *et al.*, 2022).

Acredita-se na adição de nano materiais a esses produtos, sendo que uma das principais vantagens das partículas em escalas nanométricas, é em relação a maior área de superfície quando dispersos uniformemente em uma camada (Clausen *et al.*, 2010).

As nanopartículas com dimensões abaixo de 100 nm possibilitam a combinação exclusiva entre propriedades mecânicas e físicas. Essas partículas ultrafinas recebem a valia

devido à sua natureza única, alta energia superficial, grande área superficial específica e área interfacial com matriz polimérica (Ahmadi, 2019). Exemplos de usos desses nanomateriais em inovação e tecnologia são as nanofibras, para as quais estão sendo realizados estudos sobre a lignina e também da poliacrilonitrila (PAN).

O principal benefício da obtenção de nanopartículas a partir de lignina é um aumento notável da área superficial e, conseqüentemente, uma maior dispersão em água. Isso ocorre porque a lignina é naturalmente incapaz de se dissolver em água em condições normais devido as interações entre as moléculas que favorecem a aglomeração e, conseqüentemente, não se dissolvem (LU *et al.*, 2012). Outro benefício é a menor exigência de massa para aplicação em materiais, o que favorece o menor uso de reagentes e também acelera a produção de novos materiais de fontes renováveis (Graça *et al.*, 2012).

As nanoligninas quando empregadas no preparo de compósitos poliméricos apresentaram características interessantes como a estabilidade térmica melhorada, o aumento da absorção de radiação ultravioleta e o aumento da capacidade antioxidante em comparação com as matrizes poliméricas puras, o que faz estas propriedades terem relação direta ao aumento da razão área/volume das partículas e conseqüentemente o aumento de seus grupos funcionais (Kai *et al.*, 2016).

Avaliando a dispersão e a ligação interfacial da lignina manométrica e microlignina, quando introduzida em duas quantidades de peso diferentes (5% e 10% em peso) em adesivo fenol-formaldeído, Yang *et al.* (2019) obtiveram resultados melhores da cura térmica quando utilizaram a lignina em nanoescala. Os mesmos autores afirmaram que quando utilizadas na concentração de 5% obteve um aumento na resistência ao cisalhamento dos painéis.

Comparando a nanopartícula de lignina obtidas por um processo de acidólise com lignina pura, Qi *et al.* (2020) realizaram nanocompósitos de poliuretano (PU). Os autores encontraram melhorias no resultado do desempenho mecânico com a adição das nanopartículas de lignina, como por exemplo no teste de tração. Além disso, os nanocompósitos tiveram resistência inerente à radiação ultravioleta.

REFERÊNCIAS

- AHMADI, Z. Nanostructured epoxy adhesives: A review. **Progress in Organic Coatings**, v. 135, p. 449-453, 2019.
- AIRES, A. **Tannins: Structural Properties, Biological Properties and Current Knowledge**. London: IntechOpen, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80170>
- AMINI, M.H.M.; RASAT, M.S.M.; MOHAMED, M. Chemical composition of small diameter wild acacia mangium species. **ARPN Journal of Eng Appl Sci**, 12 (8), 2698–2702, 2017.
- ANDRADE, M.C.N.; MINHONI, M.T.A.; SANSÍGOLO, C.A.; ZIED, D.C. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **R. Árvore**, v.34, n.1, p.165-175, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000100018>
- ANJOS, B.F.; AZEVEDO, T.K.B; SILVA, B.R.F.; BRAGA, R.M.; PIMENTA, A.S.; ANDRADE, F.A.F. Tannins from cashew tree (*Anacardium occidentale*) bark as a flocculant for water clarification. **Revista Ambient. Água**, 17(3), 2022. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2815>
- ARBENZ, A.; AVEROUS, L. Chemical modification of tannins to elaborate aromatic biobased macromolecular architectures. **Green Chemistry**, v. 17, n. 5, p. 2626-2646, 2015.
- AZEVEDO, T.K.B.; PAES, J.B.; CALEGARI, L.; NASCIMENTO, J.W.B. Qualidade dos taninos de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) para a produção de adesivo tanino formaldeído. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, 507-514, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509818470>
- AZEVEDO, T.K.B.; PAES, J.B.; CALEGARI, L.; SANTANA, G.M. Teor de Taninos Condensados Presente na Casca de Jurema-Preta (*Mimosa tenuiflora*) em Função das Fenofases. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.026613>
- BACELO, H.A.M.; SANTOS, S.C.R.; BOTELHO, C.M.S. Tannin-based biosorbents for environmental applications – A review. **Chemical Engineering Journal**, v. 303, p. 575-587, 2016.
- BACELO, H.A.M.; BOTELHO, C.M.S.; SANTOS, S.C.R.; VILARINHO, C.; CASTRO, F.; LOPES, M.L. Production of tannin-based adsorbents and their use for arsenic uptake from water. In: **WASTES – Solutions, Treatments and Opportunities II**. CRC Press, p. 113-118, 2017.
- BARBIRATO, G.H.A.; JUNIOR, W.E.L.; HELLMEISTER, V.; PAVESI, M.; FIORELLI, J. OSB panels with balsa wood waste and castor oil polyurethane resin. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 2, p. 743-751, 2020. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0474-8>
- BERGNA, H.; ROBERTS W. **Colloidal Silica: Fundamentals and Applications**. Florida: CRC Press, Boca Raton, 2006.
- BORTOLETTO JUNIOR, G.; GARCIA, J.N. Bending strength and stiffness properties of OSB and plywood panels. **Revista Árvore**, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

BRAINER, M.S.C.P. Cajucultura. **Caderno Setorial ETENE**, v. 7, n. 230, 2022. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1328/1/2022_CDS_230.pdf>. Acessado em 12 de novembro de 2021.

BRASIL. Governo do estado do Ceará. Ciência e Tecnologia. **Potencial da madeira de cajueiro**. 2019. Disponível em: <<https://www.ceara.gov.br/2019/06/05/projeto-cearense-descobre-o-potencial-inexplorado-da-madeira-de-cajueiros/>>. Acessado em 11 de novembro de 2021.

BRITO, F.M.S.; SILVA, B.A.; CARVALHO, I.M.; BAÚTI, S.B.; MENDES, L.M.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B. Technological Properties of Medium Density Particleboards Produced with Peanut (*Arachis Hypogaea*) and *Pinus Oocarpa* Hulls. **Floresta e Ambiente**, v. 29, n. 2, 2022.

CARLESSO, L.C.; LAJUS, C.R.; STEFFENS, J.; STEFFENS, C. Qualidade sanitária das sementes de híbridos de milho tratadas com nanopartículas de cobre. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42234-42246, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-607>

CARMO, J.F.; MIRANDA, I.; QUILHÓ, T.; SOUSA, V.B.; CARMO, F.H.D.J.; LATORRACA, J.V.F.; PEREIRA, H. Chemical and structural characterization of the bark of *Albizia niopoides* trees from the Amazon. **Wood Science and Technology**, 50, 677-692, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0807-3>

CARVALHO, A.G.; ZANUNCIO, A.J.V.; MENDES, R.F.; MORI, F.A.; SILVA, M.G.; MENDES, L.M. Adesivos tânicos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville na produção de painéis aglomerados. **Revista Árvore**, v. 38, n. 1, p. 195-202, 2014.

CESAR, A.A.S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 88 p., 2011.

CHAVES, M.H.; LOPES, C.A.G.; LOPES, J.A.D.; COSTA, D.A.; OLIVEIRA, C.A.; COSTA, A.F.; BRITO JUNIOR, F.E.M. Fenóis totais, atividade antioxidante e constituintes químicos de extratos de *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000100021>

CHEN, Y.; GONG, X.; YANG, G.; LI, Q.; ZHOU, N. Preparation and characterization of a nanolignin phenol formaldehyde resin by replacing phenol partially with lignin nanoparticles. **RSC Advances**, v. 9, n. 50, p. 29255-29262, 2019.

CHUPIN, L.; MOTILLON, C.; CHARRIER-EL BOUHTOURY, F.; PIZZI, A.; CHARRIER, B. Characterization of maritime pine (*Pinus pinaster*) bark tannins extracted under different conditions by spectroscopic methods, FTIR and HPLC. **Ind. Crop. Prod.** 49, 897-903, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.045>.

CLAUSEN, C.A.; GREEN III, F.; NAMI KARTAL, S. Weatherability and Leach Resistance of Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide. **Nanoscale Research Letters**, v. 5, n. 9, p. 1464-1467, 2010.

CLIFFORD, M.N.; SCALBERT, A. Ellagitannins - nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, p. 1118-1125, 2000.

GLOBAL CASHEW COUNCIL. **Cashew nut annual report**. 2021. Disponível em: <<https://www.cashews.org/en/cashew-information>>. Acessado em 11 de novembro de 2021.

DE BRUYNE, T.; PIETERS, L.; DEELSTRA, H.; VLJETINCK, A. Condensed vegetable tannins: biodiversity in structure and biological activities. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 27, n. 4, p. 445-459, 1999.

DURÁN, N.; MATTOSO, L.H.C.; MORAIS, P.C. **Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanopartículas e exemplos de aplicação**. 1 ed. São Paulo: Artliber Editora, 208 p., 2006.

EMBRAPA. Agência Embrapa de Informação Tecnológica - AGEITEC. **Cultivo do cajueiro**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/caju>>. Acessado em 12 de novembro de 2021.

FARIS, A.H.; RAHIM, A.A.; IBRAHIM, M.N.M.; ALKURDI, A.M.; SHAH, I. Combination of lignin polyol–tannin adhesives and polyethylenimine for the preparation of green water-resistant adhesives. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 20, 2016.

FERREIRA, A.M.; PEREIRA, J.; ALMEIDA, M.; FERRA, J.; PAIVA, N.; MARTINS, J.; MAGALHÃES, F.D.; CARVALHO, L.H. Low-cost natural binder for particle boards production: study of manufacture conditions and stability. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 93, 102325, 2019.

FERREIRA, J.P.; MIRANDA, I.; SOUSA, V.B.; PEREIRA, H. Composição química das cascas das árvores *Quercus faginea* e caracterização dos seus extratos lipofílicos e polares. **PLoS ONE**, 13(5), 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197135>

FIGUEIREDO, P.; LINTINEN, K.; HIRVONEN, J.T.; KOSTIAINEN, M.A.; SANTOS, H.A. Properties and chemical modifications of lignin: Towards lignin-based nanomaterials for biomedical applications. **Progress in Materials Science**, v. 93, p. 233-269, 2018.

FILGUEIRA, D.; MOLDES, D.; FUENTEALBA, C.; GARCIA, D.E. Condensed tannins from pine bark: a novel wood surface modifier assisted by laccase. **Industrial Crops and Products**, v. 103, p. 185-194, 2017.

GRAÇA, M.P.; RUDNITSKAYA, A.; FARIA, F.A.; EVTUGUIN, D.V.; GOMES, M.T.; OLIVEIRA, J.A.; COSTA, L.C. Electrochemical impedance study of the lignin-derived conducting polymer. **Electrochimica acta**, v. 76, p. 69-76, 2012.

GUANGCHENG, Z.; YUNLY, L.; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid content in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, v. 54, n. 3, p. 154-156, 1991.

HAGERMAN, A.E. **The Tannin Handbook**. Miami University, Oxford/Ohio, 117 p., 2002.

HAGERMAN, A.E.; RIEDL, K.M.; JONES, G.A.; SOVIK, K.N.; RITCHARD, N.T.;

HARTZF, P.W.; RIECHEL, T.L. High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 46, n. 5, p. 1887-1892, 1998.

HAN, Y.; LIN, Z.; ZHOU, J.; YUN, G.; GUO, R.; RICHARDSON, J.J.; CARUSO, F. Polyphenol-Mediated Assembly of Proteins for Engineering Functional Materials. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 59, n. 36, p. 15618-15625, 2020.

HASLAM, E. The Metabolism of Gallic Acid and Hexahydroxydiphenic Acid in Higher Plants. In: HERZ, W.; GRISEBACH, H.; KIRBY, G.W. (eds). **Progress in the Chemistry of Organic Natural Products**. Vol 41, Springer:Vienna, 1982. https://doi.org/10.1007/978-3-7091-8656-5_1

HERNES, P.J.; HEDGES, J.I. Assinaturas de tanino de cascas, agulhas, folhas, cones e madeira no nível molecular. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 68, p. 1293-1307, 2004.

HILLIS, W.E. Biosynthesis of tannins. **Biosynthesis and biodegradation of wood components**, p. 325, 1985.

HOONG, Y.B.; PARIDAH, M.T.; LOH, Y.F.; JALALUDDIN, H.; CHUAH, L.A. A new source of natural adhesive: *Acacia mangium* bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (*Annonaceae* spp.) veneers. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 31, n. 3, p. 164-167, 2011.

HOONG, Y.B.; PARIDAH, M.T.; KOH, M.P.; LOH, Y.F. Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**, 30 (3), 416-421, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.07.012>

HOYOS-MARTÍNEZ, P.L.; MERLE, J.; LABINI, J.; EL BOUHTOURY, F.C. Tannins extraction: A key point for their valorization and cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, v. 206, p. 1138-1155, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.243>

IBÁ - Indústria Brasileira de produtores de Árvores. **Relatório IBÁ 2017: Ano base 2016**. Brasília: 2017.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Chapter 10 - Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2012.

IWAKIRI, S.A; TRIANOSKI, R (eds). **Painéis de Madeira Reconstituída**. 2 ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 259 p., 2020.

IWAKIRI, V.T.; TRIANOSKI, R.; RAZERA, D.L.; IWAKIRI, S.; ROSA, T.S. Production of Structural Particleboard of *Mimosa Scabrella* Benth With Lignin Phenol-formaldehyde Resin. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 3, e20171006, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.100617>

JANG, Y.; LI, K. An all-natural adhesive for bonding wood. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 92, n. 3, p. 431-438, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2610-y>

JEEVANANDAM, J.; BARHOUM, A.; CHAN, Y.S.; DUFRESNE, A.; DANQUAH, M.K. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. **Beilstein Journal of Nanotechnology**, v. 9, p. 1050-1074, 2018.

KAI, D.; TAN, M.J.; CHEE, P.L.; CHUA, Y.K.; YAP, Y.L.; LOH, X.J. Towards lignin-based functional materials in a sustainable world. **Green Chemistry**, v. 18, n. 5, p. 1175-1200, 2016.

KHANBABAEE, K.; VAN REE, T. Tannins: classification and definition. **Natural Product Reports**, v. 18, n. 6, p. 641-649, 2001.

KIM, S. Environment-friendly adhesives for surface bonding of wood-based flooring using natural tannin to reduce formaldehyde and TVOC emission. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 744-748, 2009.

KREFTA, S.C.; CUNHA, A.B.; BRAND, M.A. Influência do revestimento nas propriedades de painéis compensados não-estruturais de uso exterior submetidos a câmara de intemperismo acelerado. **Scientia Forestalis**, v. 50, e3849, 2022. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.29>

KRUNG, D.; TOBISCH, S. Einsatz von Proteinen als Bindemittel für Holzwerkstoffe. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 68, n. 3, p. 289-301, 2010.

LI, R.J.; GUTIERREZ, J.; CHUNG, Y.L.; FRANK, C.W.; BILLINGTON, S.L.; SATTELY, E.S. A lignin-epoxy resin derived from biomass as an alternative to formaldehyde-based wood adhesives. **Green chemistry**, v. 20, n. 7, p. 1459-1466, 2018. <https://doi.org/10.1039/C7GC03026F>

LIMA, F.O.; SILVA, L.C.L.; FAVARIM, H.R.; CAMPOS, C.I. Adição de nanopartículas em painéis engenheirados de madeira. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 2659-2667, 2022.

LIMA, R.S.N.; LIMA, J.R.; SALIS, C.R.; MOREIRA, R.A. Cashew-tree (*Anacardium occidentale* L.) exudate gum: a novel bioligand tool. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 35, n.1, p. 45-53, 2010.

LU, Q.; ZHU, M.; ZU, Y.; LIU, W.; YANG, L.; ZHANG, Y.; ZHAO, X.; ZHANG, X.; ZHANG, X.; LI, W. Comparative antioxidant activity of nanoscale lignin prepared by a supercritical antisolvent (SAS) process with non-nanoscale lignin. **Food Chemistry**, v. 135, n. 1, p. 63-67, 2012.

LUCKENEDER, P.; GAVINO, J.; KUCHERNING, R.; PETUTSCHNIGG, A.; TONDI, G. Sustainable Phenolic Fractions as Basis for Furfuryl Alcohol-Based Co-Polymers and Their Use as Wood Adhesives. **Polymers**, v. 8, n. 11, p. 396, 2016. <https://doi.org/10.3390/polym8110396>

LUCKMAN, S. S., CUNHA, A. B., RIOS, P. D., & ZANATTA, P. Influência da incorporação de Lignina Kraft à resina ureia-formaldeído nas propriedades tecnológicas de painéis aglomerados convencionais. **Scientia Forestalis**, 49(131), 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n131.10>

MANTANIS, G.I.; ATHANASSIADOU, E.T.; BARBU, M.C.; WIJNENDAELE, K. Adhesive systems used in the European particleboard, MDF and OSB industries. **Wood Material Science & Engineering**, v. 13, n. 2, p. 104-116, 2018.

MARQUES, S.R.R.; AZEVEDO, T.K.B.; CASTILHO, A.R.F.; BRAGA, R.M.; PIMENTA, A.S. Extraction, quantification, and FTIR characterization of bark tannins of four forest

species grown in northeast Brazil. **Rev. Árvore**, 45, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-908820210000041>

MATSUMAE, T.; HORITO, M.; KURUSHIMA, N.; YAZAKI, Y. Development of bark-based adhesives for plywood: utilization of flavonoid compounds from bark and wood. II. **Journal of Wood Science** 65,9, 2019. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1780-x>.

MATTOS, R.L.G.; CHAGAS, F.B.; GONÇALVES, R.M. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

MEDEIROS, J.X.; CALEGARI, L.; SILVA, G.H.; TANAJURA, J.A.; BRAZ, R.L. Bark and Fruit Extracts *Anadenanthera colubrina* (Vell.), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) and *Acacia mearnsii* (Wild.) Species. **Journal of Experimental Agriculture International**, 30(1), 2019.

MOUBARIK, A.; CHARRIER, B.; ALLAL, A.; CHARRIER, F.; PIZZI, A. Development and optimization of a new formaldehyde-free cornstarch and tannin wood adhesive. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 68, n. 2, p. 167-177, 2010. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0357-6>

MORISADA, S.; RIN, T.; OGATA, T.; KIM, Y.H.; NAKANO, T. Adsorption removal of boron in aqueous solutions by amine-modified tannin gel. **Water Research**, v. 45, n. 13, p. 4028-4034, 2011.

MOTA, G.S.; SARTORI, C.J.; MIRANDA, I.; QUILHÓ, T.; MORI, F.A.; PEREIRA, H. Bark anatomy, chemical composition and ethanol-water extract composition of *Anadenanthera peregrina* and *Anadenanthera colubrina*. **Plos One**, 12, 1-14, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189263>

MUELLER-HARVEY, I. Analysis of hydrolysable tannins. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1-2, p. 3-20, 2001.

NAIR, S.S.; SHARMA, S.; PU, Y.; SUN, Q.; PAN, S.; ZHU, J.Y.; RAGAUSKAS, A.J. High shear homogenization of lignin to nanolignin and thermal stability of Nanolignin-Polyvinyl alcohol blends. **ChemSusChem**, v. 7, n. 12, p. 3513-3520, 2014. <https://doi.org/10.1002/cssc.201402314>

NOVAES, T.E.R.; NOVAES, A.S.R. Analysis of the medicinal potentials of cashew tree (*Anacardium occidentale* Linn): a brief review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e41810111838, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11838>

OLIVEIRA, N.N.; MOTHÉ, C.G.; MOTHÉ, M.G.; OLIVEIRA, L.G. Cashew nut and cashew apple: a scientific and technological monitoring worldwide review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 1, p. 12-21, 2020. <https://dx.doi.org/10.1007/s13197-019-04051-7>

PAULA, L.E.R.; TRUGILHO, P.F.; REZENDE, R.N.; ASSIS, C.O.; BALIZA, A.E.R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 103, 2011.

PENG, J.; CHEN, X.; ZHANG, J.; ESSAWY, H.; DU, G.; ZHOU, X. Characterization on the Copolymerization Resin between Bayberry (*Myrica rubra*) Tannin and Pre-Polymers of Conventional Urea-Formaldehyde Resin. **Forests**, v. 13, n. 4, p. 624, 2022.

PIZZI, A. Natural Phenolic Adhesives I: Tannin. In: **Handbook of adhesive technology**. 2 ed. New York: Marcel Dekker Inc., p. 573-587, 2003.

PIZZI, A. Tannins: major sources, properties and applications. **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**, pp. 179-199, 2008.

PIZZI, A.; PAPADOPOULOS, A.N.; POLICARDI, F. Wood composites and their polymer binders. **Polymers**, v. 12, 1115, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/polym12051115>

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 680 p., 1994.

QUEIROZ, R.F.; CORREA, M.C.M.; CRISOSTOMO, L.A.; LIMA, F.F.; CAVALCANTE, R.D. Aproveitamento do bagaço de caju como fertilizante orgânico em pomar de cajueiro em produção. In: XXI Congresso Brasileiro de Fruticultura, Natal/RN. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2010.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília: IBAMA, 1991.

QI, G.; YANG, W.; PUGLIA, D.; WANG, H.; XU, P.; DONG, W.; ZHENG, T.; MA, P. Compósitos de poliuretano-nanolignina hidrofóbicos, resistentes a UV e dielétricos com boa reprocessabilidade. **Materials & Design**, v. 196, 2020. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.matdes.2020.109150>

RIBASKI, N.G. Conhecendo o setor florestal e perspectivas para o futuro. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 44-58, 2018.

ROSDIANA, N.A.; DUMARÇAY, S.; GERARDIN, C.; CHAPUIS, H.; MEDINA, F.J.S.; SARI, R.K.; SYAFII, W.; GELHAYE, E.; RAHARIVELOMANANA, P.; MOHAMMED, R.; GERARDIN, P. Characterization of bark extractives of different industrial Indonesian wood species for potential valorization. **Industrial Crops and Products**, 108, 121-127, 2017. <https://doi-org.ez26.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.indcrop.2017.06.034>

SAIN, S.; MATSAKAS, L.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P.; OMAN, T.; SKRIFVARS, M. Spruce Bark-Extracted Lignin and Tannin-Based Bioresin-Adhesives: Effect of Curing Temperatures on the Thermal Properties of the Resins. **Molecules**, v. 26, n. 12, p. 3523, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26123523>

SARTORI, C.J.; MOTA, G.S.; MIRANDA, I.; MORI, F.A.; PEREIRA, H. Tannin extraction and characterization of polar extracts from the barks of two Eucalyptus urophilla hybrids. **BioResources** 13, 4820-4821, 2018.

SCHOFIELD, P.; MBUGUA, D.M.; PELL, A.N. Analysis of condensed tannin: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 91, n. 1-2, p. 21-40, 2001.

SHARMA, K.P. Tannin degradation by phytopathogen's tannase: A Plant's defense perspective. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101342, 2019.

SHIRMOHAMMADLI, Y.; EFHAMISSI, D.; PIZZI, A. Tannins as a sustainable raw material for green chemistry: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 126, p. 316-332, 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**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 394-400, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.061113>

SARTORI, C.; MOTA, G.S.; FERREIRA, J.; MIRANDA, I.; MORI, F.A.; PEREIRA, H. Chemical characterization of the bark of Eucalyptus urophylla hybrids in view of their valorization in biorefineries. **Holforschung**, 2016. <https://doi.org/10.1515/hf-2015-0258>

SAUGET, A.; ZHOU, X.; PIZZI, A. Tannin-resorcinol-formaldehyde resin and flax fiber biocomposites. **Journal of Renewable Materials**, v. 2, n. 3, p. 173-181, 2014.

SILVA, R.V. **Uso de taninos da casca de três espécies de eucalipto na produção de adesivos para madeira**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa/MG, 57 p., 2001.

SILVA, E.P.; MOTA, G.S.; ARAUJO, E.S.; SOUSA, T.B.; FERREIRA, H.; MORI, F.A. Chemical composition and cellular structure of cork from *Agonandra brasiliensis* from the Brazilian Cerrado. **European Journal of Wood and Wood Products**, 79, 1469-1478, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01721-2>

SILVA, B.R.F.; MOURA, M.C.V.; UCELLA FILHA, J.G.M.; CARNAVAL, A.A.A.; COSTA, T.L.N.; AZEVEDO, T.K.B.; CANTO, J.L.; PAES, J.B. Substâncias tânicas presentes em várias partes da árvore jurema – preta (*Mimosa tenuiflora* sp.). In: III Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Florianópolis/SC. **Anais...** Florianópolis: UDESC, 2017

SILVA, B.C. VIEIRA, M.C.; OLIVEIRA, H.G.; OLIVEIRA, G.L.; GONÇALVES, F.G. RODRIGUES, N.D.; LELIS, R.C.; IWAKIRI, S. Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído do *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 511-519. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.057>

SOLT, P.; KONNERTH, J.; GINDL-ALTMUTTER, W.; KANTNER, W.; MITTER, R.; HERWIJNEN, H.W.G.V. Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 94, p. 99-131, 2019.

SOUSA, T.B.; SOUZA, S.G.; FRANCO, T.B.B.; SILVA DE JESUS, M.; MORI, F.A. Quantification of Tannins from Curupay Bark. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.008216>

SOUZA, J.B., AZEVEDO, T.K.B., SOUSA, T.B., SILVA, G.G.C., GUIMARAES JUNIOR, J.B., PIMENTA, A.S. Colagem de compensados com adesivo à base de taninos de *Acacia mangium* Wild. casca de árvores cultivadas no Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Agrar.**, v.15, n.4, 2020.

SWENBERG, J.A; MOELLER, B.C; LU, K.; RAGER, J.E; FRY, R.C; STARR, T.B. Formaldehyde Carcinogenicity Research: 30 Years and Counting for Mode of Action,

Epidemiology, and Cancer Risk Assessment. **Toxicologic Pathology**, v. 41, n. 2, p. 181-189, 2013. <https://doi.org/10.1177/0192623312466459>

TAHIR, P.M.; HALIP, J.A.; LEE, S.H. Chapter 7 – Tannin-based bioresin as adhesives. *In: Lignocellulose for Future Bioeconomy*. p. 109-133, 2019.

THOSTENSON, E.T.; LI, C.; CHOU, T.W. Nanocomposites in context. **Composites Science and Technology**, v. 65, n. 3, p. 491-516, 2005.

VAN BUREN, J.P.; ROBINSON, W.B. Formation of complexes between protein and tannic acid. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 17, n. 4, p. 772-777, 1969.

WU, H.; LIAO, D.; CHEN, X.; DU, G.; LI, T.; ESSAWY, H.; PIZZI, A.; ZHOU, X. Functionalized Natural Tannins For Preparation of a novel non-isocyanate polyurea-based adhesive. **Polymer Testing**, v. 117, 107853, 2023.

YANG, W.; RALLINI, M.; NATALI, M.; KENNY, J.; MA, P.; DONG, W.; PUGLIA, D. Preparation and properties of adhesives based on phenolic resin containing lignin micro and nanoparticles: A comparative study. **Materials & Design**, v. 161, p. 55-63, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.11.032>

YANG, T. DONG, M., CUI, J., GAN, L., HAN, S. Exploring the formaldehyde reactivity of tannins with diferente molecular weight distributions: bayberry tannins and larch tannins. **Holzforschung**, 2019.

YEARLA, S.R.; PADMASREE, K. Preparation and characterisation of lignin nanoparticles: evaluation of their potential as antioxidants and UV protectants. **Journal of Experimental Nanoscience**, v. 11, n. 4, p. 289-302, 2016.

ZHANG, J.; KANG, H.; GAO, Q.; LI, J.; A. PIZZI. A.; DELMOTTE. L. Performances of larch (*Larix gmelini*) tannin modified urea–formaldehyde (TUF) resin and plywood bonded by TUF resin. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 22, 2014.

ZHANG, J.; XI, X.; LIANG, J.; PIZZI, A.; DU, G.; DENG, S. Tannin-based adhesive cross-linked by furfuryl alcohol-glyoxal and epoxy resins. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 94, p. 47-52, 2019.

SEGUNDA PARTE

Potencial da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*) como fonte de taninos para aplicações em adesivos naturais

Potential of cashew bark (*Anacardium occidentale*) as a source of tannins for applications in natural adhesives

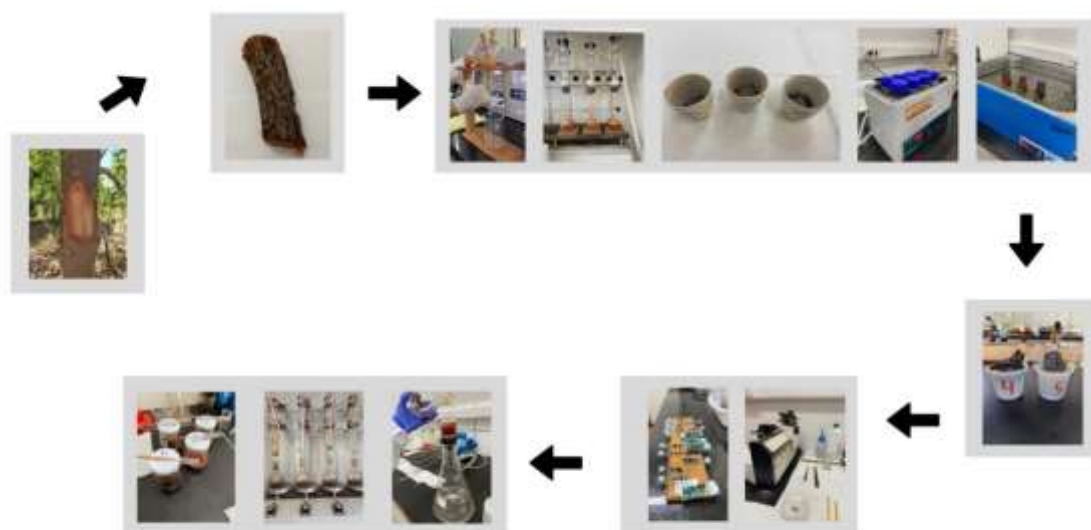
Resumo

A valorização de fontes renováveis na produção de adesivos tem impulsionado a exploração de taninos extraídos de cascas de árvores como uma alternativa sustentável aos derivados petroquímicos. O cajueiro (*Anacardium occidentale*), espécie amplamente cultivada no Nordeste brasileiro, é conhecido pelo aproveitamento do pseudofruto, mas sua casca contém compostos bioativos com potencial para aplicações industriais. Neste estudo, investigou-se a extração e caracterização de taninos condensados da casca do cajueiro, visando sua utilização em adesivos naturais para painéis laminados. Foram testados diferentes processos extrativos, utilizando água e soluções de sulfito de sódio em concentrações de 1% a 4%. Além da quantificação dos taninos, a casca foi submetida a análises anatômicas e químicas, incluindo determinação do teor de extrativos, lignina, cinzas e suberina, além da caracterização dos compostos fenólicos e da estrutura molecular por Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR). Os resultados indicaram que a extração com 3% de sulfito de sódio apresentou o maior rendimento e pureza dos taninos, evidenciado pelo índice de Stiasny de 73,35%. A espectroscopia FTIR confirmou a presença de estruturas polifenólicas características. Esses achados demonstram que os taninos da casca do cajueiro possuem grande potencial para aplicação em adesivos naturais, destacando a sulfitação como um método eficiente para sua extração.

Abstract

The valorization of renewable sources in the production of adhesives has driven the exploration of tannins extracted from tree bark as a sustainable alternative to petrochemical derivatives. The cashew tree (*Anacardium occidentale*), a species widely cultivated in the Brazilian Northeast, is known for the use of its pseudofruit, but its bark contains bioactive compounds with potential for industrial applications. In this study, the extraction and characterization of condensed tannins from cashew bark were investigated, aiming at their use in natural adhesives for laminated panels. Different extraction processes were tested, using water and sodium sulfite solutions at concentrations of 1% to 4%. In addition to the quantification of tannins, the bark was subjected to anatomical and chemical analyses, including determination of the content of extractives, lignin, ash and suberin, in addition to the characterization of phenolic compounds and molecular structure by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The results indicated that the extraction with 3% sodium sulfite presented the highest yield and purity of tannins, evidenced by the Stiasny index of 73.35%. FTIR spectroscopy confirmed the presence of characteristic polyphenolic structures. These findings demonstrate that cashew bark tannins have great potential for application in natural adhesives, highlighting sulfitation as an efficient method for their extraction.

Resumo gráfico



1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas sustentáveis e a valorização dos resíduos agroflorestais têm se intensificado nas últimas décadas, especialmente após a Conferência Rio-92, onde o conceito de sustentabilidade foi consolidado como um dos pilares do desenvolvimento. A sustentabilidade é definida como a capacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer as futuras gerações (Lopes *et al.*, 2021), motivando a exploração de novos materiais de origem vegetal para substituir insumos petroquímicos em diversas aplicações.

Nesse contexto, os taninos vegetais destacam-se pelo potencial de mercado e sua ampla aplicação comercial. Extraídos principalmente das cascas de árvores como *Acacia mearnsii*, *Quercus sp.* e *Pinus spp.*, os taninos condensados são amplamente utilizados na fabricação de biocompósitos e produtos de alto valor agregado, incluindo corantes alimentícios, embalagens bioativas e cosméticos (Mendoza *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2020; Araujo *et al.*, 2021). Além disso, sua estrutura molecular semelhante à do fenol permite a substituição parcial de produtos petroquímicos na formulação de adesivos (Sauget *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2019). No entanto, a elevada viscosidade desses adesivos pode comprometer a resistência da linha de cola, exigindo estratégias para aprimorar seu desempenho (César, 2011). Diante desse desafio, diversas abordagens vêm sendo estudadas, como modificações químicas e a combinação com

nanomateriais, visando melhorar suas propriedades adesivas e mecânicas (Jang e Li, 2015; Carlesso *et al.*, 2021).

A casca de cajueiro (*Anacardium occidentale*) surge como um recurso promissor nesse cenário. Amplamente cultivado no Brasil, com uma área plantada de 425,2 mil hectares (Brainer, 2022), o cajueiro é conhecido não apenas pelo pseudofruto, mas também pelos compostos fenólicos presentes em sua casca, que são mais abundantes do que na polpa do caju (Chaves *et al.*, 2010). Esses compostos apresentam propriedades terapêuticas e antimicrobianas, além de potencial para aplicações industriais (Novaes e Novaes, 2021). A casca do cajueiro, rica em polifenóis e outros extrativos complexos, como suberina, permite a produção de biocompósitos com propriedades diferenciadas e se destaca como uma matéria-prima versátil e sustentável (Souza *et al.*, 2021).

Apesar desse potencial, o uso industrial da casca de cajueiro ainda é limitado, devido à falta de conhecimento sobre suas características específicas e propriedades adesivas (Jansone *et al.*, 2017). Assim, o presente estudo busca quantificar o rendimento de taninos condensados extraídos das cascas do cajueiro, além de avaliar sua qualidade para a síntese de adesivos naturais. Além disso, caracterizar anatomicamente o *Anacardium occidentale* buscando ampliar as possibilidades de valorização da espécie do cajueiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, Brasil.

2.1 Coleta e preparo do material

As cascas de *Anacardium occidentale* foram coletadas de 7 árvores de 20 anos selecionadas aleatoriamente no município de Curimatá, Piauí, Brasil (7° 16' 0" S, 40° 69' 60" W), em área de floresta nativa de clima tropical semiárido quente. As cascas retiradas foram da parte inferior do fuste até o diâmetro a altura do peito (1,3m) e coletadas nos meses de dezembro e janeiro.

O material foi coletado com auxílio de um facão com cortes longitudinais e secos ao ar livre durante duas semanas. Após secas, as cascas foram encaminhadas à Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da UFLA (Universidade Federal de Lavras),

onde foram moídas em moinho martelo do tipo Retsch SK para obtenção de um material fino e uniforme.

Para a obtenção da umidade do material foram retiradas 20g de casca moída, utilizando-se três repetições, e levando-as para a estufa por 24 horas à temperatura de 103 ± 2 °C. O cálculo da umidade foi feito pela relação entre massa úmida e massa seca da casca moída, para que assim iniciasse o processo seguinte.

2.2 Caracterização química da casca

As cascas secas da espécie foram moídas em um moinho de martelo, resultando em material homogêneo com granulometria de 60 mesh para quantificar extrativos totais, suberina, cinzas e lignina total. A quantificação das cinzas seguiu as normas TAPPI (T 211 om-93), enquanto os extrativos totais foram avaliados conforme as normas TAPPI (T 204 om-88 e T207 om-93).

Para a suberina, utilizou-se cascas livres de extrativos, tratadas com uma solução de sódio metálico a 50 mM (Pereira, 1988). Nesse procedimento, 1,5 g de cascas foram aquecidas com 100 mL de solução de sódio a 3% por 3 horas. Após a filtragem em cadinho de vidro com porosidade 2, o resíduo foi lavado com metanol e submetido a uma nova extração com solução de sódio por 15 minutos.

A solução resultante foi acidificada até pH 6 com ácido sulfúrico em metanol. Em seguida, o metanol foi removido por um evaporador rotativo, e o resíduo lavado com água desionizada e diclorometano. O uso de sulfato de sódio anidro facilitou a remoção de umidade, e a solução foi filtrada, com o diclorometano sendo evaporado posteriormente. O teor de suberina foi determinado gravimetricamente e expresso em relação à massa seca inicial, com as análises realizadas em duplicata.

A lignina Klason foi quantificada em duplicata conforme a norma TAPPI T222 om-88, e a lignina solúvel foi determinada a partir do filtrado da Klason, com leituras de absorbância a 205 nm, seguindo a TAPPI UM 250.

2.3 Anatomia da casca

As amostras foram impregnadas com polietilenoglicol DP 1500, e preparadas em cortes microscópicos transversais, tangenciais e radiais, desde o floema até o ritidoma (Quilhó *et al.* 2000). Utilizou-se um micrótomo de deslize Leicam SM 2000 para produzir secções de 15–20

µm de espessura, que foram coradas com dupla coloração utilizando azul astra (1%) e crisoidina (1%). As lâminas permanentes foram montadas em resina sintética (Entellan).

Para as macerações, pequenas porções das amostras foram selecionadas e colocadas em uma solução de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio (1:1) a 60 °C por 7 horas (Franklin, 1945; modificado por Kraus e Arduin, 1997). O material macerado foi corado em azul astra, e lâminas semipermanentes foram montadas em glicerina.

As observações microscópicas e coleta de dados foram realizadas em um microscópio óptico (Ken-A Vision TT-1010) acoplado a uma câmera digital e operado pelo software WinCELL-PRO. As lâminas foram fotografadas com um sistema de captura de imagens (CX31, Olympus, Tóquio, Japão), seguindo a terminologia de Angyalossy *et al.* (2016).

2.4 Compostos fenólicos da casca

O teor de fenóis totais foi quantificado pelo método de Folin-Ciocalteu, com ácido gálico utilizado como padrão (Pereira, 1988). A quantificação dos flavonoides totais foi realizada pelo ensaio colorimétrico com cloreto de alumínio, utilizando a catequina como padrão (Singleton e Rossi, 1965). O teor de taninos condensados foi determinado pelo método vanilina-H₂SO₄ (Zhishen, Mengcheng e Jianming, 1999). As leituras de absorbância foram obtidas com o espectrofotômetro, e os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (fenóis totais) e equivalente de catequina (flavonoides e taninos condensados) por grama de extrato seco.

2.5 Extração e quantificação dos taninos

As extrações foram realizadas com base na metodologia adaptada proposta por Sousa *et al.*, (2019), da qual utilizou uma proporção de 1500 de água mL para 100g de casca absolutamente seca (razão licor/casca 15:1) e porcentagens (1%, 2%, 3% e 4%) de sulfito de sódio (Na₂SO₃), aquecidas em banho-maria a 70 °C durante três horas. Após esse período, o extrato foi passado em uma peneira de 200 mesh e por um filtro de tecido, com a finalidade de retirar o excesso de cascas para então ser filtrado através de uma bomba a vácuo e cadinho de porosidade 1. O extrato foi concentrado por evaporação até o volume de 150 mL em uma manta de aquecimento para ser realizada sua quantificação.

2.6 Teor de sólidos totais

Para determinar o teor de sólidos totais (TST) pesou-se três amostras com 2g, das quais foram levadas para estufa por 24 horas à $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ para determinar sua massa seca. Para o cálculo do TST utilizou a Equação 2:

$$TST(\%) = \frac{M_s}{M_u} \times 100$$

Em que:

TST (%) = Teor de sólidos em porcentagem;

Ms = massa da amostra seca (gramas);

Mu = massa úmida da amostra (gramas).

2.7 Índice de Stiasny

O Índice de Stiasny (IS) foi obtido conforme os procedimentos descritos por Guangcheng *et al.*, (1991). Foram retiradas amostras de 20 g do líquido concentrado e adicionados 10 ml de água destilada, 4 ml de formaldeído (37 %, m/m) e 2 ml de HCl 10 N. Essa mistura foi aquecida durante 35 minutos sob refluxo. Nessas condições, os taninos formarão complexos insolúveis. Por esta razão, o extrato foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado de porosidade número 2 e acondicionado em uma estufa com temperatura aproximada de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante. Ao obter a massa seca do precipitado, calculou o Índice de Stiasny, conforme a Equação 1:

$$IS = \frac{\text{massa seca do precipitado tanino formaldeído}}{\text{massa total de sólidos em 20g de extrato}} \times 100$$

2.8 Rendimento em sólidos

Com a finalidade de calcular o rendimento em sólidos do tanino, utilizou a seguinte Equação 3:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Teor de sólidos (\%)} \times \text{peso do concentrado}}{100}$$

2.9 Teor de sólidos não tânicos

Com a finalidade de calcular o teor de sólidos não tânicos, utilizou a seguinte Equação 4:

$$\% \text{ não tânico} = \text{rendimento em sólidos} - \text{rendimento tânico}$$

2.10 Teor de taninos condensados (tanino em pó)

O teor de taninos condensados foi calculado conforme a Equação 5:

$$\% \text{ taninos condensados} = \frac{IS (\%) \times TST (\%)}{100}$$

2.11 Análise de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises por FTIR foram realizadas no Laboratório de Química, pertencente à Universidade Federal de Lavras. A análise por FTIR foi realizada para caracterizar quimicamente. As curvas serão analisadas por meio do Software Origin Pro 8.

2.12 Delineamento experimental e análise estatística dos dados

Para análise dos dados, será utilizado um delineamento inteiramente casualizado na avaliação dos cinco tratamentos da casca do cajueiro. Foram considerados a caracterização do tanino química, anatômica e quantitativa. O teste de média utilizado será o Scott-Knott, em nível de 95% de confiança.

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Composição química somativa da casca

A Tabela 1 refere-se à composição química geral da casca de *Anarcadium occidentale* L.

Tabela 1: Composição química somativa das cascas de *Anacardium occidentale L*

Composição química	<i>Anacardium occidentale L</i>
Extrativos totais	26,9
Diclorometano	2,3 ± 0,08
Etanol	16,4 ± 1,76
Água	8,2 ± 1,90
Suberina	2,68
Cinzas	3,19 ± 0,19
Lignina total	25,15
Lignina Klason	22,13
Lignina solúvel	3,02

Os valores são mostrados como média ± desvio padrão.

O teor de extrativos totais da casca foi de 26,9%, dos quais 91,45% envolvem os extrativos polares, que são etanol e água. A composição química da casca apresenta complexidade e variação entre o floema secundário e o ritidoma, bem como entre espécies e até mesmo dentro de uma mesma espécie. Comparada à madeira, a casca exibe uma composição química distinta, caracterizada por um elevado teor de extrativos solúveis em água ou em solventes orgânicos, conforme mostrado na Tabela 1 (Fradinho *et al.*, 2002).

O teor de extrativo foi semelhante ao de outras espécies, como *M. urundeuva*, *A. peregrina* e *A. colubrina*, 26,96% , 28,8% e 29,3%, respectivamente (Sousa *et al.*, 2020; Mota *et al.*, 2017). No estudo de Amini *et al.*, (2017) os autores estudaram uma das espécies mais explorada para obtenção de taninos, a *Acacia mangium*, onde encontraram um teor de extrativos de 30,5%, sendo um valor relativamente próximo ao do estudo.

O teor de suberina foi baixo (2,68%) em comparação ao da casca de *Quercus suber*, cuja suberina pode representar de 30 a 50% da massa seca (Harman Ware *et al.*, 2021). As células do felema são células mortas caracterizadas por uma parede celular contendo suberina que é depositada internamente na parede celular primária (Leite e Pereira, 2017). Quando a proporção de felema é pequena, o teor de suberina é baixo.

O teor de cinzas foi baixo (3,91%) e inferior ao encontrado em muitas espécies de cascas de árvores, por exemplo, *A. niopoides* 5,3% (Carmo *et al.* 2016b), *A. peregrina* 8,2%, *A.*

colubrina 7,7% (Mota *et al.* 2017). O único estudo que apresentou valor inferior de 2,3% para cascas de *E. globulus* (Mota *et al.* 2013).

Em relação ao teor de lignina observou-se que o valor total foi de 25,15%. Este valor é inferior ao das cascas de *Agonandra brasiliensis*, *Astronium lecointei*, *Quercus faginea* 45,63%, 32,7% e 28,2% respectivamente (Silva *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2018; Mota *et al.*, 2021). De acordo com Sousa *et al.* (2020) quando as espécies apresentam alto teor de lignina, pode ser justificado pela maior parte lignificada, que é devido a presença de células do esclerênquima, apresentando então uma grande quantidade de fibras distribuída em bandas tangencias das cascas.

3.2 Estrutura e anatomia da casca

A espessura da casca de *Anacardium occidentale* L é entre 10 a 15 mm. A superfície do ritidoma é escamosa com presença fendas verticais, cinza-amarronzado com manchas brancas, já o interior da casca lisa e granulosa com a cor creme-vermelhado (Fig.1, A). A casca inclui o floema (condutor e não condutor) e o ritidoma (Fig.1, B).

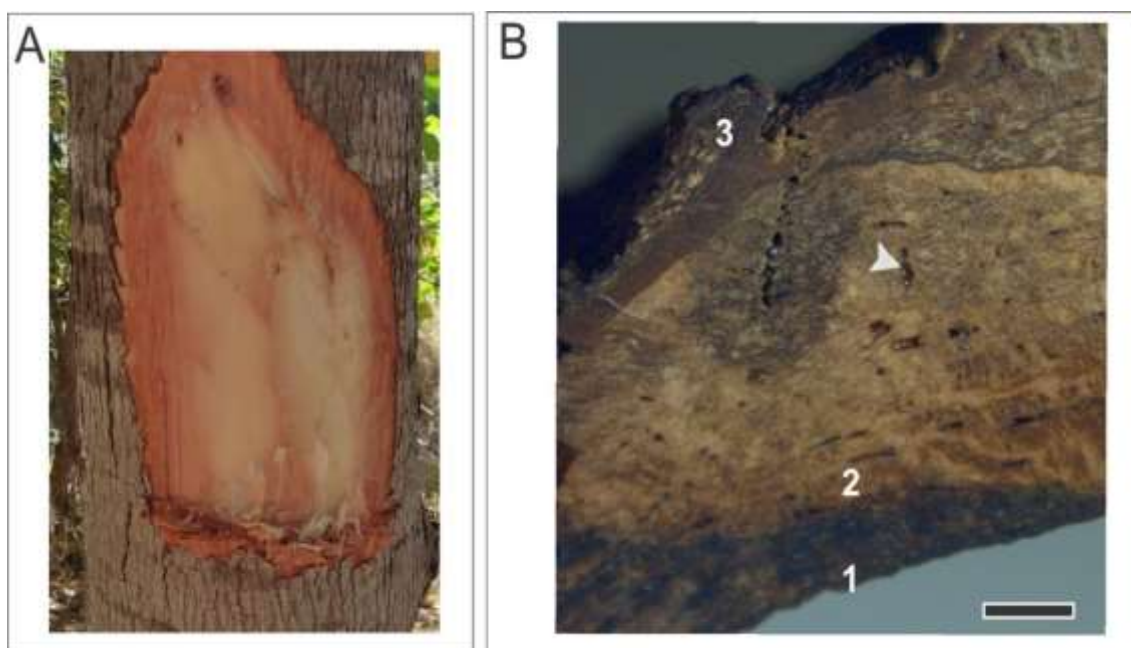


Fig. 1. (A) Aspectos macroscópicos da casca externa de *Anacardium occidentale* L.; B) Casca interna da espécie evidenciando floema condutor (1), floema não condutor (2) e ritidoma (3), resina (seta). Barra de escala = 100 μ m.

Os elementos de tubo crivado são acompanhados por uma célula companheira e são dispostos em fileiras radiais no floema condutor com diâmetros tangenciais médios de 42,62 μ m a 162,78 μ m (Figura 3C). A altura média dos raios foi de 142,3 a 623,4 μ m e a largura foi de 25,64 a 129,5 μ m, com raios multisseriados (Figura 3A). Na seção radial é possível identificar que os raios são compostos parenquimáticas compondo o floema secundário: células quadradas e procumbentes (Figura 3B). Os elementos do tubo crivado têm placa inclinada simples com comprimentos de 121,28 a 371,08 μ m, em média (Figura 4B).

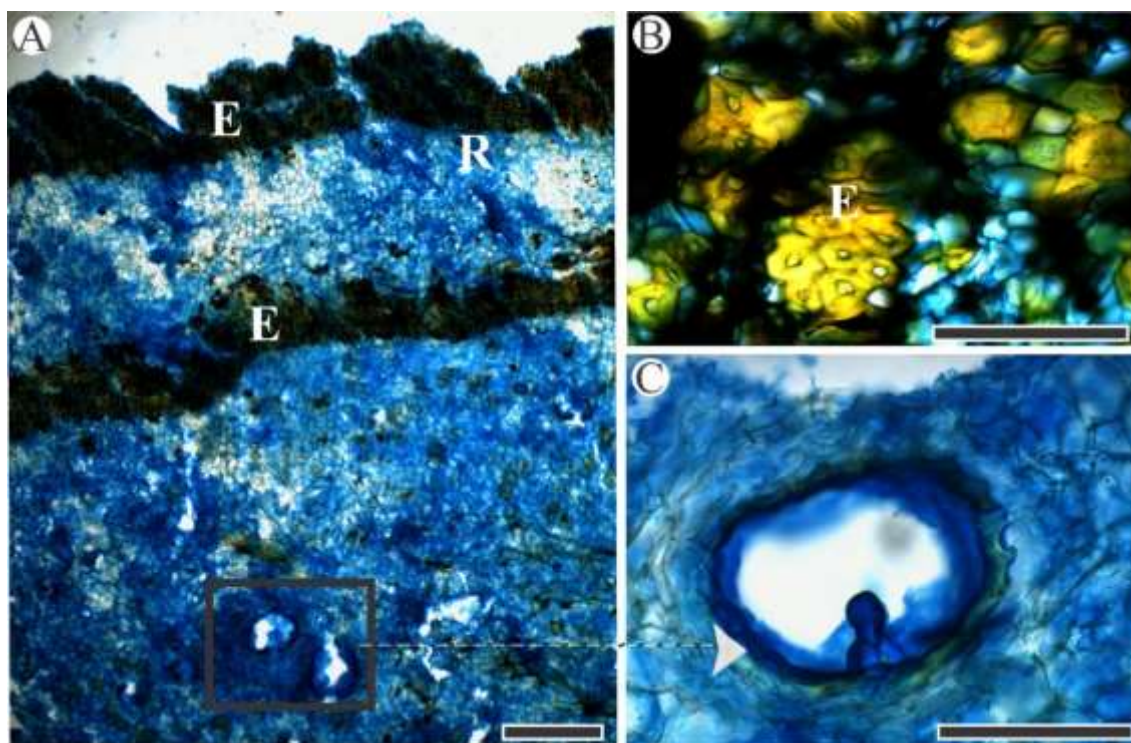


Fig. 2. Plano transversal de *Anacardium occidentale* L.; (A) ritidoma (R), esclereide (E) (B) Esclereide (E);(C) Canal secretor (seta) ; (Barra de escala (A-C) = 100 μ m.

As fibras têm comprimento médio de 953,2 a 1825,8 μ m (Figura 4A). No floema não condutor, as fibras ocorrem em grupos isolados entre as células (Figura 2B). As esclereides têm paredes lignificadas e atingem um diâmetro tangencial médio de 21,14 a 61,34 μ m (Figura 2B). As esclereides possuem como função o suporte mecânico no vegetal (Vangeel *et al.* 2021).

No floema não condutor de *Anarcadium occidentale* foi possível verificar canal secretor (Figura 2C). Segundo Metcalfe e Chalk (1950) a ocorrência de canais secretores é uma característica comum das *Anacardiaceae*, incluindo *A. occidentale* (cajueiro). Destaca-se que, apesar da importância dos canais secretores desse gênero botânico, a maioria dos estudos citológicos são voltados para o caule desses vegetais, existindo limitados estudos com flores, frutos e cascas (Carvalho *et al.* 2023). Encarnação *et al.* (2023) destaca esse canal secretor como sendo de tanino.

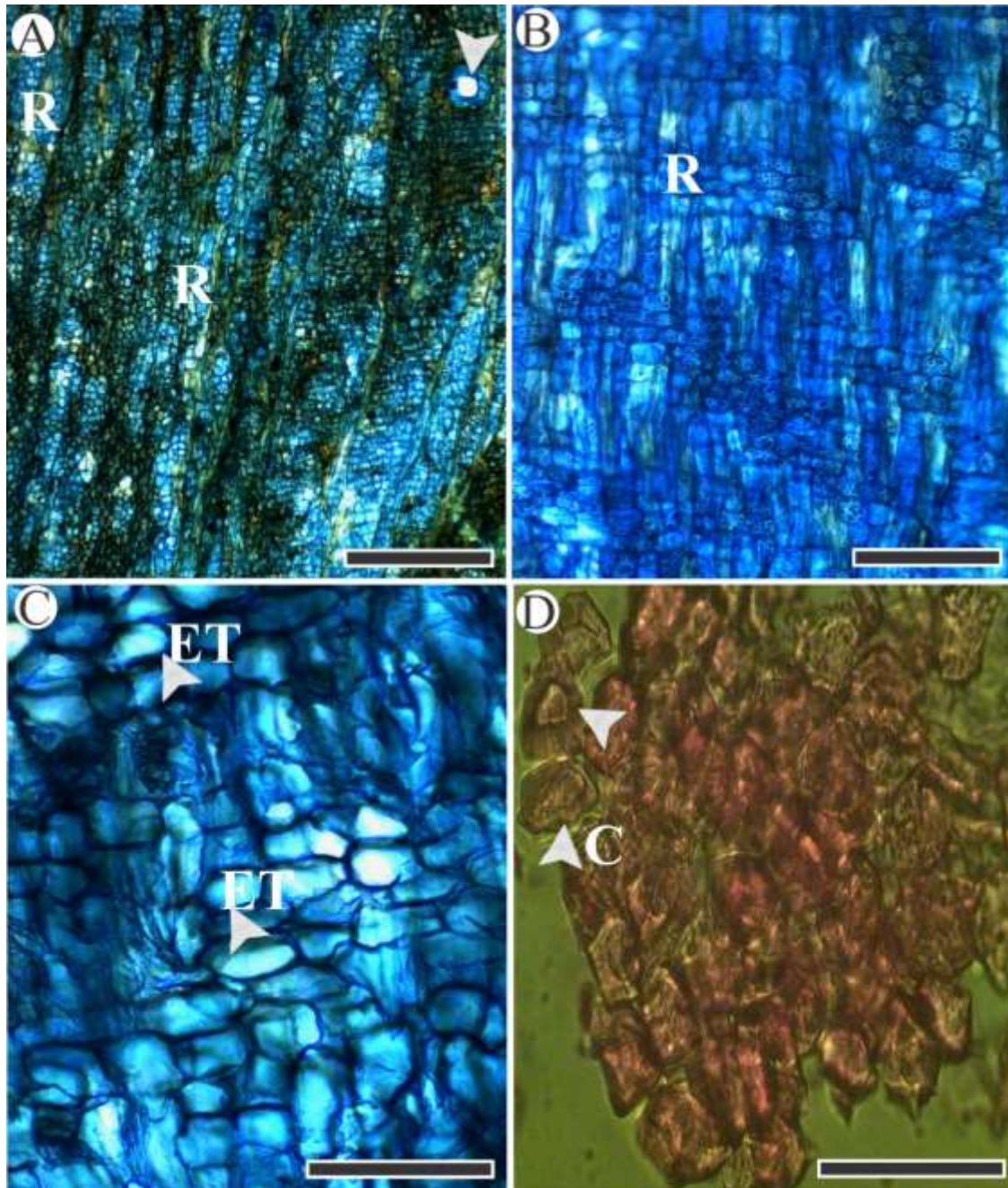


Fig. 3. (A) Plano tangencial, Raios (R); (B) Plano radial Raios (R); (C) Plano transversal, Elemento de tubo (ET);(D) Cristais de oxalato de cálcio (seta); (Barra de escala (A-C) = 100 μm).

Na Figura 3C é observado aglomerado de cristais de oxalato de cálcio. Encarnação *et al.* (2022) trabalhando com casca da mesma espécie conseguiu fazer uma observação semelhante. O crescimento de cristais representa um processo intracelular altamente regulado (Monje *et al.* 2002).

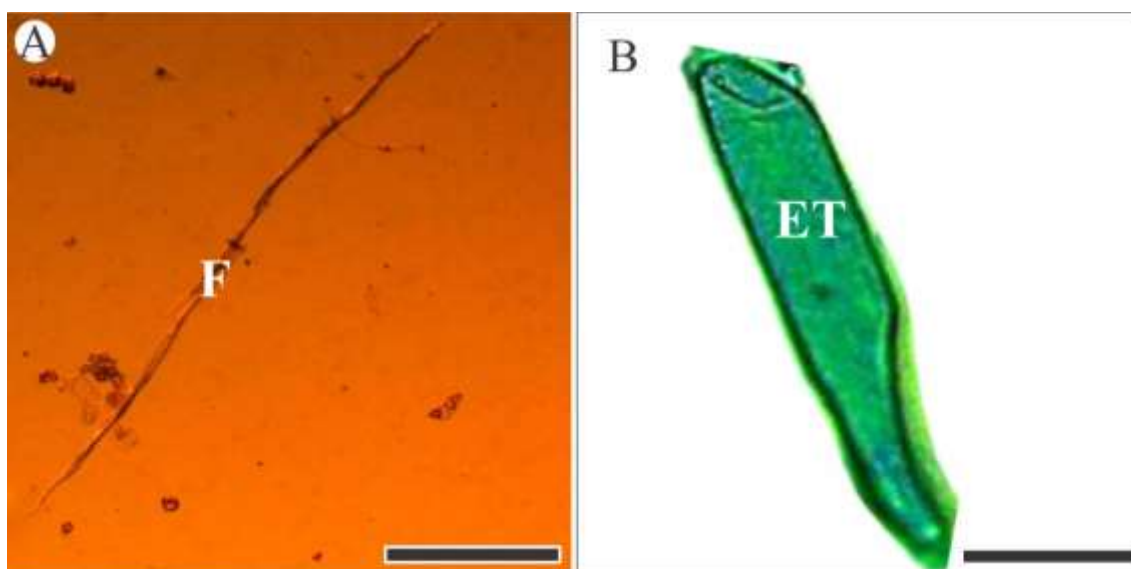


Fig. 4. (A) Fibra (F);(B) Elemento de tubo (ET); (Barra de escala (A-C) = 100 μm).

3.3 Compostos fenólicos da casca

A partir da Tabela 2 é possível observar as médias dos parâmetros de fenóis totais, flavonoides e taninos condensados.

Tabela 2 - Valores médios de fenóis totais, flavonoides e taninos condensados extraídos em: etanol:água, metanol:água e acetona:água.

Tratamento	Fenóis Totais	Flavonoides	Taninos Condensados
Etanol: Água	$9,97 \pm 0,43$ A	$1,15 \pm 0,01$ A	$0,39 \pm 0,02$ A
Metanol: Água	$86,32 \pm 8,17$ B	$5,54 \pm 0,02$ C	$1,89 \pm 0,01$ C
Acetona: Água	$95,63 \pm 1,72$ C	$4,98 \pm 0,03$ B	$1,64 \pm 0,01$ B

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

As extrações avaliando a eficiência dos diferentes tipos de solventes houve diferença significativa. A extração com acetona: água apresentou o maior valor (95,63 mg de ácido gálico/mL), seguido pelo metanol: água (86,32 mg/mL) e etanol: água (9,97 mg/mL). Sendo assim, a acetona é mais eficiente em extrair compostos fenólicos em comparação ao etanol e ao metanol, provavelmente devido à sua maior capacidade de dissolver compostos de diferentes polaridades.

Com relação aos flavonoides, o tratamento com metanol: água apresentou o maior teor de flavonoides (5,54 mg de catequina/mL), enquanto acetona: água e etanol: água vieram em seguida, com valores de 4,98 mg/mL e 1,15 mg/mL, respectivamente. Consequentemente, o metanol favorece a extração de flavonoides em comparação aos outros solventes, uma vez que os flavonoides têm uma boa solubilidade no metanol, o que é consistente com estudos que demonstram que esse solvente otimiza a extração de flavonoides em materiais vegetais (Rebaya *et al.* 2015).

Da mesma forma para os taninos condensados, a extração com metanol: água foi a mais eficiente (1,89 mg de catequina/mL), seguida por acetona: água (1,64 mg/mL) e etanol: água (0,39 mg/mL). Portanto, reforça o solvente metanol sendo eficaz para taninos condensados, enquanto a acetona também proporciona uma boa extração, embora ligeiramente inferior em comparação.

Esses resultados indicam que a escolha do solvente impacta diretamente a quantidade de compostos extraídos, sendo que o metanol e a acetona se mostram solventes mais eficazes que o etanol para esses compostos em específico (Kassim *et al.* 2011). Os taninos condensados são os taninos mais utilizados na indústria, representando cerca de 90% da produção mundial. Com alta reatividade e estrutura baseada em anéis fenólicos, eles favorecem a coesão entre fibras e outros componentes em materiais de embalagem, funcionando como um adesivo natural (Xu *et al.*, 2024).

3.4 Extração dos taninos

A partir da Tabela 3 é possível observar as médias de todos os parâmetros de caracterização do tanino.

Os valores médios de extração de taninos em água e solução de Na₂SO₃ a 1, 2, 3 e 4% das cascas de *Anacardium occidentale* são apresentadas na Tabela 3. O teor de sólidos (TS) refere-se à quantidade de sólidos que podem ser extraídos da casca e quando possuem altos valores nem sempre estão associados a um alto teor de taninos (Medeiros *et al.*, 2019). A extração em água e contendo 1% de sulfito de sódio foram estatisticamente iguais, mas o maior valor encontrado foi na extração de 3%, que se diferenciou estatisticamente.

Tabela 3 - Valores médios do teor de sólidos (TS), rendimento de sólidos (RS), índice de stiasny (IS), teor de tanino condensado (TTC) e teor de compostos não tânicos (TCNT).

Extração	TS	RS	IS	TTC	TCNT
Água	13,52 A	17,11 A	60,48 A	10,35 A	6,75 A
1%	13,62 A	20,12 B	64,67 B	13,01 B	7,10 A
2%	14,07 B	22,91 C	66,54 B	15,24 C	7,66 B
3%	16,44 C	27,06 D	73,35 C	19,85 D	7,21 A
4%	14,31 D	24,54 E	64,91 B	15,93 E	8,60 C

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si ($p \leq 0,05$) pelo teste de Scott-Knott.

A extração contendo a adição de 3% de sulfito de sódio, que representou um aumento significativo no rendimento de sólidos totais de 58,11% em relação a extração somente com água. Este aumento de rendimento é devido à capacidade do sal extrator (sulfito de sódio) de tornar os taninos mais solúveis em água através da abertura do anel heterocíclico da unidade flavonoide dos taninos condensados (Pizzi e Mittal, 1994). Vários estudos relatam o aumento de rendimentos em taninos condensados quando extraído em solução de sulfito de sódio, como por exemplo Araujo *et al.*, (2021) e Sartori *et al.*, (2018).

O Índice de Stiasny é o parâmetro mais importante na determinação do uso de tanino em adesivo (Chupin *et al.*, 2013), pois permite uma estimativa da quantidade total de poliflavonoides reagindo com formaldeído (Matsumae *et al.*, 2019). Desta forma, os valores mais altos são almejados, pois indicam a fração de taninos que será polimerizada na ligação (Araujo *et al.*, 2021). Neste estudo, o índice de Stiasny foi estatisticamente igual nas extrações utilizando 1, 2 e 4% de sulfito de sódio. A extração em água apontou o menor índice de Stiasny

e quando utilizou 3% de Na₂SO₃ diferenciou-se estatisticamente dos tratamentos apresentando o maior valor.

O teor de tanino condensado refere ao real teor de taninos existentes na casca da espécie e quando se encontra altos teores indica que a espécie apresenta potencial como fonte de taninos condensados em larga escala, com possibilidade de expansão da produção locais onde a árvore possa ser cultivada (Marques *et al.*, 2021). No estudo, todas as extrações se diferenciaram estatisticamente e o melhor teor foi de 19,85% quando se extraiu a 3% de sulfito de sódio. No teor de compostos não tânicos pode se observar a tendência de aumento de compostos não tânicos quando aumenta a quantidade de sulfito de sódio. Assim, o tratamento que utilizou 4% de sulfito de sódio apresentou média superior dos demais tratamentos.

Conforme o estudo de Anjos *et al.* (2022) onde realizaram a extração em água e quantificação dos taninos da casca de 10 cajueiros (*Anacardium occidentale*) com cerca de 15 anos, o teor de sólidos foi de 33,4%, índice de stiasny de 59,5% e teor de taninos condensados de 19,8%. Pode-se observar que as quantificações do presente estudo tiveram valores diferentes as encontradas pelos autores, somente o índice de stiasny da extração em água foi a que apresentou valor aproximado.

3.5 FTIR

Os espectros FTIR foram obtidos na região de 3236–900 cm⁻¹ das amostras de tanino do cajueiro, Figura 5.

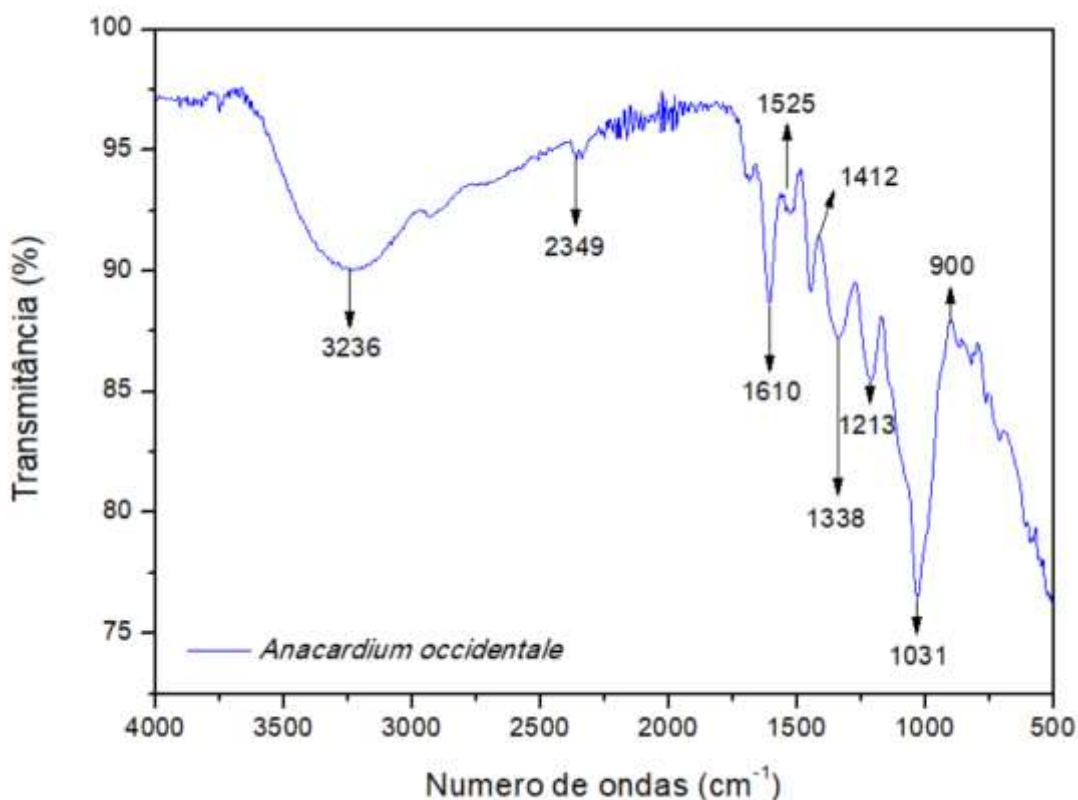


Fig. 5. Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

O espectro de FTIR do tanino extraído da casca do cajueiro apresenta uma série de bandas características, começando pelo pico em 3236 cm^{-1} , que indica a presença de grupos hidroxila (-OH) associados às ligações de hidrogênio, comuns em compostos fenólicos como os taninos, como no estudo Marques *et al.* (2021). Esse grupo é essencial para a reatividade dos taninos em processos de interposição, uma vez que facilita a interação com outras superfícies Kassim *et al.* (2011). Já o pico em 2349 cm^{-1} pode indicar traços de outras ligações, como -CH , embora seja uma banda menos comum em taninos e que poderia estar relacionada a impurezas ou pequenas interferências.

As bandas entre 1525 cm^{-1} e 1610 cm^{-1} refletem as vibrações de estiramento das ligações $\text{C}=\text{C}$ dos anéis aromáticos, que compõem a estrutura básica dos taninos. Estes picos confirmam a presença de uma estrutura fenólica com anéis aromáticos, característica dos taninos condensados. Nos espectros dos taninos condensados, podemos observar uma dupla absorção ou uma banda intensa em forma de ombro na faixa entre 1.620 e 1.604 cm^{-1} (Ricci *et al.* 2015), o que associado com maior número de Stianly apresenta alta pureza do extrato (Marques *et al.* 2021). O pico em 1412 cm^{-1} representa as vibrações de deformação C-H no anel aromático, reforçando a natureza fenólica do composto e a sua estrutura. Outro pico em

1338 cm^{-1} é atribuído ao estiramento das ligações C–O, presentes em grupos hidroxilados, essenciais para a funcionalidade dos taninos.

Por fim, o espectro apresenta picos em 1213 cm^{-1} e 1031 cm^{-1} , que envolvem as vibrações de estiramento das ligações C–O, comuns em compostos fenólicos e açúcares que podem estar presentes no extrato de tanino (Tondi e Petutschnigg, 2015). Já o pico 900 cm^{-1} são atribuídos a movimentos de OH de álcoois aromáticos (Socrates, 2004). Esses picos indicam a presença de funcionalidades oxigenadas, essenciais para o desempenho do tanino em aplicações como adesivos. Esses resultados confirmam que o tanino do cajueiro possui uma estrutura rica em grupos fenólicos e aromáticos, o que o torna promissor para uso como adesivo natural.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, foram caracterizados e quantificados os taninos extraídos da casca do cajueiro (*Anacardium occidentale*), com o objetivo de avaliar sua aplicação para a produção de adesivos naturais. Analisando o teor dos extratos tânico em diferentes concentrações de sulfito de sódio (1%, 2%, 3% e 4%), sendo que a melhor porcentagem encontrada foi quando se utilizou 3% de sulfito. Essa porcentagem proporcionou um rendimento expressivo, com alto teor de taninos condensados e elevado índice de stiasny, comprovando sua pureza e reatividade para aplicação adesiva.

A análise por Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) validou a presença de grupos funcionais essenciais, como os grupos hidroxila (–OH) e as ligações C=C aromáticas, confirmando a estrutura polifenólica dos taninos condensados. A presença dessas bandas características reforça o potencial de aplicação dos taninos como adesivos, devido à sua capacidade de formação de ligações intermoleculares, contribuindo para uma adesão eficaz e durabilidade dos painéis.

Os resultados apontam para o uso promissor dos taninos do cajueiro como base para adesivos mais sustentáveis, destacando a eficácia da sulfitação para extração, especialmente na extração utilizando 3% de sulfito, apresentam-se como uma alternativa viável aos adesivos convencionais à base de formaldeído, oferecendo uma solução renovável e sustentável.

REFERÊNCIAS

- AMINI, M.H.M.; RASAT, M.S.M.; MOHAMED, M. Chemical composition of small diameter wild acacia mangium species. **ARNP Journal of Eng Appl Sci**, 12 (8), 2698–2702, 2017.
- ANGYALOSSY, V.; PACE, M.R.; EVERT, R.F. *et al.* IAWA list of microscopic bark features. *IAWA J* 37:517–615, 2016. <https://doi.org/10.1163/22941932-20160151>
- ANJOS, B.F.; AZEVEDO, T.K.B; SILVA, B.R.F.; BRAGA, R.M.; PIMENTA, A.S.; ANDRADE, F.A.F. Tannins from cashew tree (*Anacardium occidentale*) bark as a flocculant for water clarification. **Revista Ambient. Água**, 17(3), 2022. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2815>
- ARAUJO, F.F.; FARIAS D.P.; NERI NUMA, I.A. *et al.* Polyphenols and their applications: An approach in food chemistry and innovation potential. **Food Chemistry** 338, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127535>
- BRAINER, M.S.C.P. Cajucultura. **Caderno Setorial ETENE**, v. 7, n. 230, 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1328/1/2022_CDS_230.pdf. Acessado em 12 de novembro de 2021.
- CARLESSO, L.C.; LAJUS, C.R.; STEFFENS, J.; STEFFENS, C. Qualidade sanitária das sementes de híbridos de milho tratadas com nanopartículas de cobre. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 42234-42246, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-607>
- CARMO, J.F.; MIRANDA, I.; QUILHÓ, T.; SOUSA, V.B.; CARMO, F.H.D.J.; LATORRACA, J.V.F.; PEREIRA, H. Chemical and structural characterization of the bark of *Albizia niopoides* trees from the Amazon. **Wood Science and Technology**, 50, 677-692, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00226-016-0807-3>
- CESAR, A.A.S. **Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras/MG, 88 p., 2011.
- CHAVES, M.H.; LOPES, C.A.G.; LOPES, J.A.D.; COSTA, D.A.; OLIVEIRA, C.A.; COSTA, A.F.; BRITO JUNIOR, F.E.M. Fenóis totais, atividade antioxidante e constituintes químicos de extratos de *Anacardium occidentale* L., Anacardiaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 20, n. 1, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2010000100021>
- CHEN, X., LI, J., XI, X. *et al.* Condensed tannin-glucose-based NIPU bio-foams of improved fire retardancy. **Polymer Degradation and Stability**, 175, 109121, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2020.109121>
- CHUPIN, L.; MOTILLON, C.; CHARRIER-EL BOUHTOURY, F.; PIZZI, A.; CHARRIER, B. Characterization of maritime pine (*Pinus pinaster*) bark tannins extracted under different conditions by spectroscopic methods, FTIR and HPLC. **Ind. Crop. Prod.** 49, 897-903, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.06.045>.
- FERREIRA, J.P.; MIRANDA, I.; SOUSA, V.B.; PEREIRA, H. Composição química das cascas das árvores *Quercus faginea* e caracterização dos seus extratos lipofílicos e polares. **PLoS ONE**, 13(5), 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197135>

FRADINHO, DM.; NETO, CP.; EVTUGUIN, D.; JORGE, FC.; IRLE, MA.; GIL, MH.; PEDROSA, JJ. Chemical characterisation of bark and of alkaline bark extracts from maritime pine grown in Portugal. **Ind Crop Prod** 16:23–32, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00004-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00004-3)

FRANKLIN, G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood- resins composites, and a new macerating method for wood. **Nature** 155:51, 1945.

GUANGCHENG, Z.; YUNLY, L.; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid content in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, v. 54, n. 3, p. 154-156, 1991.

JANG, Y.; LI, K. An all-natural adhesive for bonding wood. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 92, n. 3, p. 431-438, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2610-y>

JANSONE, Z., MUIZNIECE, I., BLUMBERGA, D. Analysis of wood bark use opportunities. **Energy Proc**, 128:268–274, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.070>

LEITE, C, PEREIRA, H. Cork-containing barks—a review. **Front Mater** 3:1–19, 2017. <https://doi.org/10.3389/fmats.2016.00063>

LOPES, P.J.G.; CALEGARI, L.; SILVA, W.A.M.; GATTO, P.N.M.N. *et al.* Tannin-based extracts of *Mimosa tenuiflora* bark: features and prospecting as wood adhesives. **Applied Adhesion Science**, 9:3, 2021.

KASSIM, J., HUSSIN, M.H., ACHMAD, A., DAHON, N., SUAN, T., HAMDAN, H. Determination of total phenol, condensed tannin and flavonoid contents and antioxidant activity of *Uncaria gambir* extracts. **Indonesian Journal of Pharmacy**. 22. 50-59, 2011.

KRAUS, J.E, ARDUIN, M. Manual básico de métodos em morfologia vegetal. Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1997.

MARQUES, S.R.R, AZEVEDO, T.K.B., CASTILHO, A.R.F., BRAGA, R.M., PIMENTA, A.S. Extraction, quantification and FTIR characterization of bark tannins of four forest species grown in northeast brazil. **Rev. Árvore**, 45, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-908820210000041>

MATSUMAE, T.; HORITO, M.; KURUSHIMA, N.; YAZAKI, Y. Development of bark-based adhesives for plywood: utilization of flavonoid compounds from bark and wood. II. **Journal of Wood Science** 65,9, 2019. <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1780-x>

MEDEIROS, J.X.; CALEGARI, L.; SILVA, G.H.; TANAJURA, J.A.; BRAZ, R.L. Bark and Fruit Extracts *Anadenanthera colubrina* (Vell.), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) and *Acacia mearnsii* (Wild.) Species. **Journal of Experimental Agriculture International**, 30(1), 2019.

MENDOZA, F., PINA, N., BRASÍLIO, M. Extending the stability of red and blue colors of malvidin-3-glucoside-lipophilic derivatives in the presence of SDS micelles. **Dyes and Pigments**, 151:321-326, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2018.01.007>

METCALFE, CR, CHALK, L. Anatomy of the dicotyledons leaves, stem and wood in relation to taxonomy with notes on economy uses. **Clarendon press**, Oxford, 1950.

MOTA, G.S.; SARTORI, C.J.; MIRANDA, I.; QUILHÓ, T.; MORI, F.A.; PEREIRA, H. Bark anatomy, chemical composition and ethanol-water extract composition of *Anadenanthera peregrina* and *Anadenanthera colubrina*. **Plos One**, 12, 1-14, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189263>

MOTA, G.S., ARAUJO, E.S. LORENÇO, M., ABREU, J.L.L. MORI, C.L.S.O. FERREIRA, C.A. SILVA, M.G. MORI, F.A., FERREIRA, C.G. Bark of *Astronium lecontei* Ducke trees from the Amazon: chemical and structural characterization. **European Journal of Wood and Wood Products**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01670-w>

NOVAES, T.E.R.; NOVAES, A.S.R. Analysis of the medicinal potentials of cashew tree (*Anacardium occidentale* Linn): a brief review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e41810111838, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11838>

PEREIRA, H. Chemical composition and variability of cork from *Quercus suber* L. *Wood Sci Technol* 22:211–218, 1988. <https://doi.org/10.1007/BF00386015>

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 680 p., 1994.

QUILHÓ, T., PEREIRA, H., RICHTER, H.G. Within-tree variation in phloem cell dimensions and proportions in *Eucalyptus globulus*. *IAWA J.* 21: 31–40, 200.

REBAYA, A. BELGHITH, S.I., BAGHDIKIAN, B., *et al.* Total Phenolic, Total Flavonoid, Tannin Content, and Antioxidant Capacity of *Halimium halimifolium* (Cistaceae), **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, 5 (01), pp. 052-057, 2015. DOI: 10.7324/JAPS.2015.50110

RICCI, A., OLEJAR, K.J., Parpinello GP, Kilmartin PA, Versari A. Aplicação da Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) na caracterização de taninos. **Applied Spectroscopy Reviews**. 2015;50(5):407-442. <https://doi.org/10.1080/05704928.2014.1000461>

SARTORI, C.J.; MOTA, G.S.; MIRANDA, I.; MORI, F.A.; PEREIRA, H. Tannin extraction and characterization of polar extracts from the barks of two *Eucalyptus urophylla* hybrids. **BioResources** 13, 4820-4821, 2018.

SAUGET, A.; ZHOU, X.; PIZZI, A. Tannin-resorcinol-formaldehyde resin and flax fiber biocomposites. **Journal of Renewable Materials**, v. 2, n. 3, p. 173-181, 2014.

SILVA, E.P.; MOTA, G.S.; ARAUJO, E.S.; SOUSA, T.B.; FERREIRA, H.; MORI, F.A. Chemical composition and cellular structure of cork from *Agonandra brasiliensis* from the Brazilian Cerrado. **European Journal of Wood and Wood Products**, 79, 1469-1478, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01721-2>

SINGLETON, VL, ROSSI, JJ. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents... **Am J Enol Vitic** 16:144–158, 1965.

SOCRATES, G. **Frequências de grupos característicos de infravermelho e Raman: tabelas e gráficos** / George Socrates. 3ª edição, John Wiley & Sons: Chichester, NY, EUA, 2004, ISBN 0470093072.

SOUSA, T.B.; SOUZA, S.G.; FRANCO, T.B.B.; SILVA DE JESUS, M.; MORI, F.A. Quantification of Tannins from Curupay Bark. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.008216>

SOUZA, T.B., MOTA, G.S., ARAUJO ES *et al.* The bark of *Stryphnodendron rotundifolium* as a source of phenolic extracts with antioxidant properties. **Wood Science and Technology** 55:1057–1074, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00226-021-01293-7>

SOUZA, J.B., AZEVEDO, T.K.B., SOUSA, T.B., SILVA, G.G.C., GUIMARAES JUNIOR, J.B., PIMENTA, A.S. Colagem de compensados com adesivo à base de taninos de *Acacia mangium* Wild. casca de árvores cultivadas no Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Agrar.**, v.15, n.4, 2020.

SOUSA, T.B., MOTA, G.S., ARAUJO, E.S., CARRÉRA, J.C., SILVA, E.P., SOUZA, S.G., LORENÇO, M.S., MORI, F.A. Chemical and structural characterization of *Myracrodruon urundeuva* barks aiming at their potential use and elaboration of a sustainable management plan. **Biomass Convers. Biorefin.** 12: 1583–1593, 2020 <https://doi-org.ez2610.1007/s13399-020-01093-2>.

TONDI, G.; PETUTSCHNIGG, A. Caracterização de extratos de tanino industriais no infravermelho médio (ATR FTMIR). **Culturas e produtos industriais**. 2015;65:422-428, 2015.

VANGEEL, T., NEIVA, D.M., QUILHO, T., COSTA, R.A., SOUSA, V. SELS, B.F., PEREIRA, H. Tree bark characterization envisioning an integrated use in a biorefinery. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021. DOI.org/10.1007/s13399-021-01362-8

XU, X; DENG, S; ZHOU, X; ESSAWY, H; DU, G; ZHANG, J; LEE, SH; LUM, WC. Chitosan-casein blended with condensed tannin and carnauba wax for the fabrication of antibacterial and antioxidant food packing films. **International Journal of Biological Macromolecules**, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133784>.

ZHANG, J.; XI, X.; LIANG, J.; PIZZI, A.; DU, G.; DENG, S. Tannin-based adhesive cross-linked by furfuryl alcohol-glyoxal and epoxy resins. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 94, p. 47-52, 2019.

ZHISHEN, J; MENGCHENG, T; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. **Food Chem** 64:555–559, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)