

Propriedades Bioativas, Antimicrobianas e Térmicas de frutos de *Cordia dichotoma*

Thermal, Bioactive, and Antimicrobial Properties of *Cordia dichotoma* Fruits

Liu Hsuan Han, Maria Simone Oliveira do Nascimento, Felipe Gomes Garcia, Luciana Miyagusku, Mariana Ferreira Oliveira Prates, Lincoln Carlos Silva de Oliveira

Resumo

O fruto da espécie *Cordia dichotoma*, de origem asiática, foi introduzido no Brasil por imigrantes taiwaneses. Diversos artigos científicos indicam propriedades antioxidantes, antimicrobianas e resistência térmica, propriedades interessantes para a área de ciência e tecnologia de alimentos. Este estudo objetivou avaliar as propriedades bioativas, antimicrobianas e térmicas de frutos de *Cordia dichotoma*, verificando as potencialidades da sua aplicação em embalagens para alimentos. Os frutos foram coletados em Campo Grande-MS e levados até a Unidade de Ciência de Alimentos da UFMS, onde foram higienizados, separados em casca e polpa, e liofilizados. Foram elaborados extratos utilizando os solventes, água e soluções de etanol e acetona em água em diferentes concentrações para extração de fenólicos totais (FT) e propriedades antimicrobianas frente a microrganismos de interesse para a indústria de alimentos: *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella sp*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes* pelo método disco-difusão. As amostras de casca e polpa foram submetidas à avaliação das propriedades térmicas: comportamento termogravimétrico. Foram elaboradas curvas TG/DTG geradas pelo equipamento de Termogravimetria modelo TGA-Q-50. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e as análises foram realizadas em três repetições. Os resultados de teor de compostos fenólicos foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas por teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Nas propriedades bioativas foi observado que os extratos aquoso e etanólico a 25% apresentaram maior extração ($p \leq 0,05$) de FT quando comparado aos demais solventes testados, sendo o teor de FT na polpa liofilizada significativamente maior ($p \leq 0,05$) que o verificado na casca liofilizada. No entanto, não foi observada atividade antimicrobiana dos extratos etanólicos e aquosos frente aos microrganismos pesquisados neste trabalho. No que tange a análise térmica, os resultados indicam que o fruto tem resistência térmica até 120°C. Os resultados obtidos indicam potencial antioxidante e resistência térmica do fruto para aplicação em embalagens biodegradáveis ativas para alimentos.

Palavras-Chave: análise térmica, compostos fenólicos, atividade antimicrobiana, embalagens ativas.

Introdução

De acordo com Saath e Fachinello (2018) é estimado um crescimento populacional mundial significativo nas próximas décadas, cenário que impulsiona a demanda por novos alimentos e embalagens, que embora sejam versáteis, geram impactos ambientais devido ao uso de materiais não biodegradáveis e a dificuldades de reduzir e reciclar os resíduos sólidos. Por isso, é importante desenvolver materiais alternativos como embalagens biodegradáveis e ativas para alimentos que se destacam pela sustentabilidade e funcionalidades, como propriedades antioxidantes e antimicrobianas.

Além de atenderem às demandas ecológicas, estas embalagens contribuem para redução do desperdício ao prolongar a vida útil dos alimentos (Yildirim et al., 2018).

Diferentemente das embalagens convencionais, as embalagens ativas interagem com o alimento, prolongando sua vida útil e preservando sua qualidade. As embalagens antioxidantes reduzem a oxidação lipídica e preservam atributos sensoriais ao incorporar compostos antioxidantes, enquanto as embalagens antimicrobianas inibem o crescimento de microrganismos deteriorantes e patogênicos (Ongaratto et al., 2022). Essas tecnologias são amplamente aplicadas na conservação de carnes, laticínios e produtos minimamente processados, atendendo à demanda por maior segurança e redução do desperdício de alimentos (Bittencourt et al., 2020).

As empresas do ramo alimentício buscam constantemente se adaptar e inovar, por isso cresce o interesse por fontes naturais e de menor impacto ambiental para aplicação na elaboração de embalagens biodegradáveis (Landim et al., 2016). A *Cordia dichotoma* é um fruto asiático com ampla distribuição geográfica, pertencente à família *Boraginaceae*, adaptada a climas tropicais. Esta planta é notável pela comestibilidade de quase todas as suas partes, incluindo folhas, frutos, cascas e sementes (Tripathi, 2023). O fruto apresenta textura borrachuda devido à riqueza em polissacarídeos (Matias et al., 2015). A espécie foi introduzida no Brasil por imigrantes asiáticos e se destacou pela sua capacidade de adaptação ao ambiente.

Estudos realizados em diversos países indicam que o fruto de *Cordia dichotoma* possui propriedades antioxidante e antimicrobiana, gerando interesse para a produção de embalagens ativas (Patel et al., 2019; Jamkhande et al., 2019). Em extratos metanólicos o conteúdo fenólico total no pericarpo do fruto de *Cordia dichotoma* liofilizado encontrado foi $44,75 \pm 1,84$ mg EAG g⁻¹ de amostra (Hussein et al., 2024). Além disso, o extrato da polpa dos frutos revelou-se mais eficaz que o ácido ascórbico em propriedades antioxidantes (Ibrahim et al., 2019; Tripathi, 2023). Alguns dos solventes mais empregados na extração de compostos fenólicos em alimentos incluem metanol, etanol, acetona, água e acetato de etila (Angelo & Jorge, 2007).

Quanto à atividade antimicrobiana, estudos demonstram o potencial dos extratos de *Cordia dichotoma* frente a diferentes microrganismos. Jamkhande et al. (2019) relataram ação antibacteriana em extratos de raízes de *Cordia dichotoma* obtidos por solventes como metanol, butanol, clorofórmio e acetona, para atividade significativa contra cepas como *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus vulgaris* e *Bacillus subtilis*. Já Yaermaimaiti et al. (2021) destacaram a eficácia do extrato etanólico obtido dos frutos inteiros secos da planta, que apresentou ação antimicrobiana contra *Candida albicans*, *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. Esses resultados reforçam a potencial aplicação como fonte natural de compostos antimicrobianos em sistemas de conservação de alimentos.

O uso do calor é uma etapa comum na produção de embalagens, especialmente em operações unitárias como secagem e extrusão. Por isso, conhecer as propriedades térmicas das matérias-primas é fundamental para garantir a estabilidade do material e o bom desempenho do produto final (Singh et al., 2025). Estudos anteriores demonstram que os frutos de *Cordia dichotoma*, quando incorporados em compósitos, apresentam resistência térmica de até 120 °C, indicando seu potencial para aplicações em embalagens submetidas a processos térmicos (Reddy et al., 2020).

A fim de avaliar o potencial de uso dos frutos de *Cordia dichotoma* como possível matéria-prima para aplicação na produção de embalagens biodegradáveis ativas, este estudo objetivou avaliar as propriedades bioativas, antimicrobianas e a estabilidade térmica dos frutos.

Materiais e Métodos

Coleta e Liofilização do Fruto

Os frutos de *Cordia dichotoma* foram coletados em Campo Grande - MS (20°24' S; 54°37' W) e transportados para os laboratórios da Unidade de Ciência de Alimentos (Unical) da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Alimentos e Nutrição (Facfan) da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), em Campo Grande - MS. Os frutos foram sanitizados em solução de 200 ppm de cloro por 10 minutos, enxaguados e secos naturalmente na superfície do fruto. Posteriormente, despulpados manualmente com faca de aço inox, liofilizados no equipamento Alpha 1-2 LD plus (Christ, Alemanha), triturados em moinho de facas (Tecnal, modelo Willye TE-648, Brasil), embalados em vácuo (Jetvac, Brasil) em embalagem de nylon/polipropileno e congelados. Obtendo-se polpa liofilizada (PL) e casca liofilizada (CL).

A Figura 1 apresenta os frutos de *Cordia dichotoma* fracionados, processados após coleta e acondicionados a vácuo em embalagens plásticas.



Figura 1. (A) Fracionamento dos frutos em: casca (1), polpa com semente (2), mucilagem (3) e frutos inteiros (4). (B) Frutos inteiros armazenados em embalagens plásticas.

Análise de Fenólicos Totais

A extração seguiu as diretrizes estabelecidas pela Farmacopeia Brasileira (2010). As amostras foram preparadas e analisadas em três repetições no Laboratório de Pesquisa 03, localizado no Instituto de Química da UFMS. A preparação das soluções iniciou-se com a elaboração da curva padrão de ácido gálico, incluindo solução etanólica de ácido gálico ($0,5 \text{ g L}^{-1}$), solução aquosa de (10%) e solução de *Folin-Ciocalteu* carbonato de sódio (7,5%). A curva de calibração com ácido gálico foi preparada para quantificação de compostos fenólicos conforme Singleton et al. (1999).

A partir da solução-mãe de ácido gálico foram feitas diluições em tubos de ensaio para as concentrações de: 0,025; 0,075; 0,09; 0,105 (g L^{-1}) em volume final de 3 mL. Retirou-se de cada tubo uma alíquota de 0,5 mL, e adicionou-se 2 mL de Na_2CO_3 e 2,5 mL de *Folin-Ciocalteu*. Os tubos foram agitados e incubados por 5 minutos, em banho-maria a 50°C . Os tubos foram resfriados e analisados no espectrofotômetro UV-VIS (Kasuki, modelo IL-226-NM-BI, Brasil) a 760 nm (Roesler et al., 2007).

Foram elaborados extratos de PL e CL com etanol e acetona em água destilada em concentrações de 25%, 50%, 75%, e com água destilada pura. Adicionou-se 10 mL de solvente a 0,3 g de PL e CL em tubos Falcon, que foram mantidos em banho-maria (USC1400, Unique, Brasil) a $45 \pm 1^\circ\text{C}$ por 1 h, com agitação ocasional em Vortex Mixer (Vixar, Brasil). Sob proteção da luz, os extratos foram centrifugados a 4000 rpm por 5 minutos em centrífuga (Sigma, modelo 4K15, Alemanha). Nos sobrenadantes foram realizadas análises de fenólicos totais (Singleton & Rossi, 1965).

Foi adicionada água destilada nas amostras até um volume final de 2 mL. Em seguida, foram misturadas com 0,3 mL de uma solução saturada de carbonato de sódio (Na_2CO_3) e 0,1 mL do reagente *Folin-Ciocalteu* 1 mol L^{-1} fenol. Após 1 h, sem luz, e temperatura ambiente a absorbância foi medida em 760 nm em espectrofotômetro UV-VIS (Kasuki, Brasil), conforme Roesler et al. (2007). A quantificação foi obtida pela equação da reta da curva padrão de ácido gálico, e o teor de fenóis foi expresso como mg de equivalente de ácido gálico (EAG) g^{-1} de amostra seca.

Análise De Atividade Antimicrobiana

Na análise de antimicrobiano foram selecionados os bacilos: *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella*, *Escherichia coli* e *Listeria monocytogenes*. Os materiais utilizados, incluindo placas de Petri, swabs, pipetas e tubos de ensaio, passaram por esterilização em autoclave (Fanem, modelo 415, Brasil) a 150°C por 15 minutos. Para os testes foram preparados os meios de cultura de ágar Mueller-Hinton, ágar TSA (Tryptic Soy Agar) e caldo TSB (Tryptic Soy Broth). Além disso, coloração de Gram (Gram, 1884), e utilização da escala de McFarland para padronizar a concentração

bacteriana em amostras com base na turbidez, o padrão 0,5 equivale a 1×10^8 UFC mL, e 1,5 a 1×10^7 UFC mL⁻¹ (Colle & Fraser, 1989; Cowan, 1999; Macfaddin, 2000).

As placas de Ágar Mueller-Hinton foram preparadas com 15,2 g de ágar Mueller-Hinton (Kasvi) adicionadas a 400 mL de água destilada, homogeneizada em micro-ondas e esterilizadas a 120 °C por 15 minutos. Após esfriar a 45-50 °C, a solução foi despejada em placas de Petri e refrigeradas, formando um gel. Para as placas de ágar TSA, misturaram-se 12 g de *Soya casein digest medium* (TM-Media) e 6 g de ágar em 400 mL de água destilada, seguindo o mesmo processo anterior. O caldo TSB foi preparado com 20 g do mesmo meio, 5 g de NaCl e 1 L de água destilada, sendo distribuído em tubos de ensaio (9 mL cada), em seguida foram autoclavados e após o resfriamento, armazenados na geladeira.

Na coloração de Gram, lâminas de vidro foram esterilizadas e marcadas antes da aplicação do cristal violeta por 60 segundos, aplicação de lugol por 30 segundos, descoloração com álcool 96%, e aplicação de fucsina por 30 segundos, intercalando-se enxágues entre as etapas. A observação foi realizada com óleo de imersão sobre a lâmina, sob objetiva (100x). Já o procedimento de McFarland utilizou solução salina para preparar tubos com diluições bacterianas de 1×10^8 a 1×10^2 UFC mL⁻¹. As colônias foram homogeneizadas e diluídas sequencialmente. Os tubos de 1×10^3 UFC mL⁻¹ e 1×10^2 UFC mL⁻¹ foram utilizados para semeadura em TSA com *swabs*, e as placas incubadas a 36 °C por 24 h.

A metodologia disco-difusão de Bauer et al. (1966) foi adotada para análise antimicrobiana de CL e PL, envolvendo o uso de discos estéreis de 6mm (Laborclin, Brasil) impregnados de 1 µL dos extratos aquosos de CL e PL, aplicados em placas de Petri identificadas totalizando 60 placas. Após secagem em estufa, os discos foram armazenados em tubos de ensaio tampados, protegidos com papel alumínio e filme plástico, e refrigerados até o uso. O ensaio foi realizado em capela previamente esterilizada. Os extratos foram comparados com antibióticos padrões, incluindo *ácido pipemídico*, *amoxicilina*, *ampicilina*, *azitromicina*, *bacitracina*, *claritromicina*, *eritromicina*, *fluconazol*, *linezolida*, *nistatina*, *novobiocina*, *optoquina*, *sulfazotrim*, *teicoplanina* e *trimetoprima*.

Os resultados da análise antimicrobiana serão mensurados com paquímetro e expressos em milímetros (mm), com base no diâmetro das zonas de inibição formadas ao redor dos discos impregnados com os extratos de casca liofilizada (CL) e polpa liofilizada (PL), aplicados em placas de ágar inoculadas com as diferentes cepas bacterianas. Para avaliação da eficácia, as zonas de inibição dos extratos serão comparadas às dos 15 antibióticos utilizados como padrão. A ausência de halo ou zonas inferiores a 6 mm será interpretada como ausência de atividade antimicrobiana.

Análise Estatística

No estudo dos compostos fenólicos, adotou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, com as análises realizadas em três repetições. Os resultados dos compostos fenólicos totais foram analisados por ANOVA, com as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$) usando o Software Origin 5.0. Para a análise estatística da atividade antimicrobiana, utilizou-se também o teste de Diferença Significativa Honestamente de Tukey (teste HSD de Tukey), seguindo um delineamento experimental inteiramente casualizado e realizando as análises em três repetições.

Análise Térmica

Para otimizar o contato da amostra e minimizar interferências no decorrer da análise, o material liofilizado foi triturado em moinho de facas (Tecnal, modelo Willye TE-648, Brasil). A análise térmica foi conduzida no equipamento TGA Q50 (TA Instruments, EUA) utilizando-se um cadinho de platina, devido à sua facilidade de limpeza e para evitar potenciais interferências no gráfico. Foram pesadas cerca de 4 mg de cada amostra (CL e PL) em balança semi-analítica (Shimadzu, modelo AUW220D, Japão). As análises foram realizadas em atmosferas de N_2 e ar atmosférico, com rampas de aquecimento estabelecidas em 5 °C, 10 °C, 15 °C e 20 °C. A rampa de 5 °C foi realizada em três repetições, visando garantir a precisão e reprodutibilidade dos resultados.

Os resultados foram apresentados por curvas termogravimétricas (TGA) e análise termogravimetria derivada (DTG) que é uma representação matemática da TGA, onde a derivada da variação de massa em relação ao tempo (dm/dt) é registrada em função da temperatura ou do tempo. A comparação foi realizada entre os extratos de casca liofilizada com base nos parâmetros de degradação térmica, de massa inicial, temperatura de início da decomposição, picos de degradação térmica e resíduos finais, considerando as diferentes rampas de aquecimento e atmosferas (N_2 e ar) (Ionashiro & Giolito, 2004; Ionashiro et al., 2014).

Resultados e Discussão

Análise De Fenólicos Totais

A partir da curva de calibração do ácido gálico e da equação da reta obtida, foi determinado o teor de compostos fenólicos totais nos extratos elaborados a partir dos frutos de *Cordia dichotoma*. A Tabela 1 apresenta os teores de compostos fenólicos totais extraídos das porções de casca e polpa liofilizadas de *Cordia dichotoma*, utilizando solventes aquoso (100%), acetônico e etanólico em diferentes concentrações (25%, 50% e 75%).

Tabela 1

Teor de compostos fenólicos nos extratos aquoso, acetônico e etanólico de polpa e casca de frutos de *Cordia dichotoma* expresso em mg de equivalente de ácido gálico (EAG) g⁻¹ de amostra seca.

Extrato / parte do fruto		Casca	Polpa
Aquoso	-	260,07±10,60Aa	193,17±5,89Ba
	25%	232,79±19,76Ab	157,57±0,44Bb
Acetônico	50%	159,87±20,02Ac	151,71±6,96Ab
	75%	112,76±5,94Ad	109,59±4,59Ac
	100%	57,65±1,57Ae	56,68±1,68Ae
	25%	260,72±7,053Aa	194,24±14,39Ba
Etanólico	50%	165,68±15,08Ac	74,41±17,27Bd
	75%	58,46±5,87Ae	50,99±2,68Be
	100%	43,31±2,88Af	34,78±0,57Bf

Nota. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes entre colunas, e letras minúsculas diferentes entre linhas, indicam diferença significativa pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados indicam que os teores de compostos fenólicos totais extraídos na casca são estatisticamente superiores aos da polpa ($p \leq 0,05$), quando utilizados os solventes, água, acetona e de etanol. Ao comparar os solventes, a água pura e a solução etanólica a 25% proporcionaram a maior extração de compostos fenólicos, tanto na polpa quanto na casca do fruto ($p \leq 0,05$). Para todos os solventes utilizados a redução no teor de água nos extratos reduziu o teor de compostos fenólicos extraídos.

Esse desempenho pode ser explicado por características químicas dos fenólicos, formados por um grupo de hidroxilas ligadas a um anel aromático, ambos podendo ser um ou mais, com diversos graus de polaridade, tal eficiência na extração sugere a existência de compostos fenólicos polares, pela maior afinidade com o solvente aquoso, uma vez que a água é solvente altamente polar (Dai & Mumper, 2010). Essa afinidade está ligada à presença de grupos hidroxila livres ($-OH$) em suas estruturas, por atribuir maior disponibilidade na formação de ligações de hidrogênio com moléculas de água, favorecendo a solubilização dos compostos em meio aquoso (Felhi et al., 2017).

Os maiores teores de compostos fenólicos totais obtidos foram no extrato etanólico a 25% com 260,72 mg 100 g⁻¹ e aquoso com 260 mg 100 g⁻¹ em amostras de CL. O extrato etanólico a 100% apresentou valores inferiores com 43 mg 100 g⁻¹ para CL e 35 mg 100 g⁻¹ para PL. Esses resultados são similares aos relatados por Ferreira (2015) na polpa liofilizada de frutos de laranjinha-de-pacu, apresentando 250 mg 100 g⁻¹ de fenólicos totais. Enquanto a água destilada extraiu maior teor de compostos fenólicos de frutos de tâmara (*Phoenix dactylifera*) em comparação ao metanol absoluto,

com valores de 316,72 mg EAG 100 g⁻¹ e 222,37 mg EAG 100 g⁻¹, atribuída à maior polaridade do solvente e dos fenólicos presentes (Jdaini et al., 2023).

Em estudo similar realizado na Índia, Singh et al. (2023) utilizaram o fruto inteiro seco de *Cordia dichotoma*. O extrato aquoso apresentou 0,86 mg EAG g⁻¹ e o extrato etanólico 0,06 mg EAG g⁻¹, o que corresponde a aproximadamente 86 mg EAG 100g⁻¹ e 6 mg EAG 100g⁻¹ de fenóis totais nos extratos. Neste sentido a *Cordia dichotoma* deste estudo apresentou elevado teor de fenóis totais para o extrato aquoso e etanólico a 25%, além disso, os extratos foram obtidos com tratamento térmico moderado preservando os compostos bioativos e contribuindo para potencial elaboração de embalagens biodegradáveis com propriedades antioxidantes.

Análise Microbiana

Nos primeiros testes foram notados que ocorreu contaminação no material, isto é, em menos de 48 h apresentou crescimento dos fungos. Foi necessário a realização da esterilização do material liofilizado, via UV a 15 minutos na capela e via autoclave a 10 minutos com temperatura de 100 °C. No entanto, apenas o material autoclavado não apresentou contaminação.

Dos testes iniciais realizados com os 15 antibióticos, os extratos aquosos e alcoólicos não mostraram atividade antimicrobiana às cepas utilizadas. Com isso, outros meios de extração em meio etanólico como tintura, infusão e decocção foram utilizados. No entanto, os mesmos também não apresentaram atividade. A figura 2 apresenta o teste de disco-difusão nos microrganismos *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e *Salmonella spp.*



Figura 2. Teste de disco-difusão com extratos de *Cordia dichotoma* e antibióticos frente a *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* e *Salmonella spp.*

Foi identificada a necessidade de reduzir o número de discos na placa de Petri e reorganizar a disposição dos antibióticos, a fim de evitar a sobreposição das zonas de inibição que podem comprometer a leitura dos resultados. Apesar dos ajustes realizados, não foi observada atividade antimicrobiana dos extratos testados, o que diverge de estudos de Raghuvanshi et al. (2022) e Nariya et al. (2011) que descreveram atividade antimicrobiana significativa em extratos metabólicos e butanólicos da casca de *Cordia dichotoma*, demonstrando ação contra bactérias Gram-positivas, como *Streptococcus pyogenes* e *Staphylococcus aureus*, e Gram-negativas, como *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*.

A ausência de atividade antimicrobiana dos extratos aquosos, etanólicos e nos preparados por infusão, tintura e decocção pode estar associada à alta polaridade dos solventes utilizados. Os estudos mencionados utilizam solventes como metanol e butanol, esses solventes demonstram eficácia na extração de compostos com ação antimicrobiana. Logo, sugere-se como alternativa a adoção de solventes extratores menos polares como metanol e butanol em testes futuros.

Análise Térmica

A Figura 3 apresenta as curvas termogravimétricas da casca liofilizada (CL) de frutos de *Cordia dichotoma* em sob ar atmosférico.

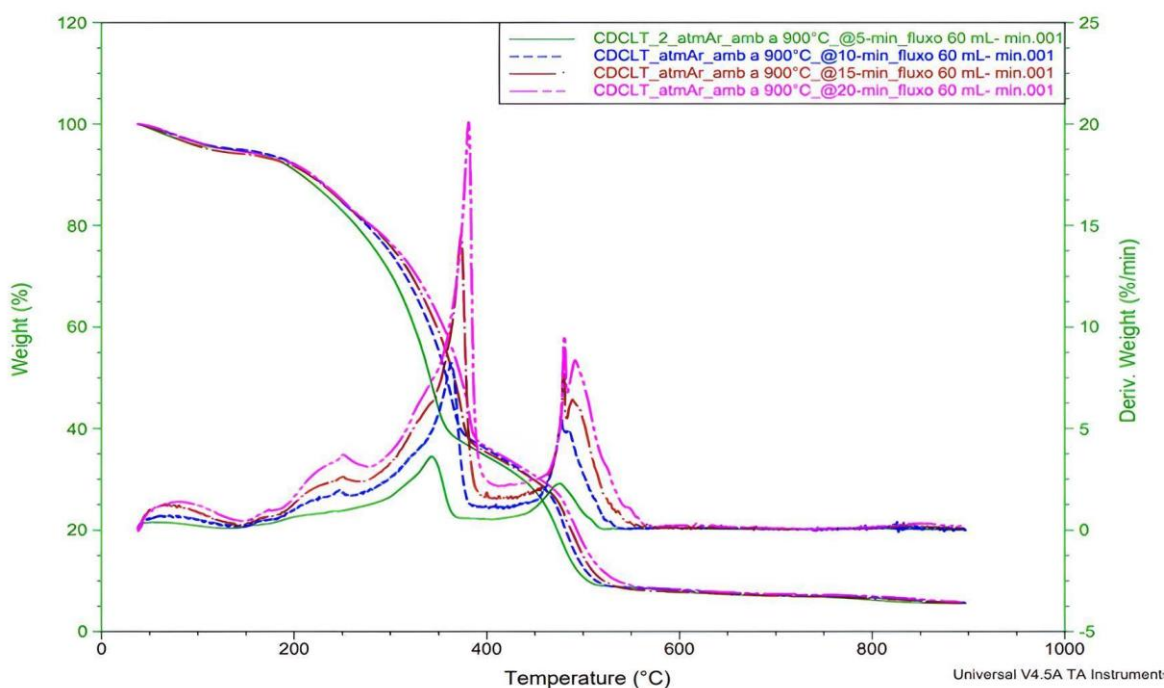


Figura 3. Curva termogravimétrica de amostras CL do fruto *Cordia dichotoma*.

Observou-se sobreposição das curvas térmicas da casca liofilizada (CL) em atmosfera de ar, indicando perda de umidade inicial, e reabsorção de água pela amostra. A análise da curva TG/DTG

revelou quatro eventos principais, sendo a leitura focada na DTG. O primeiro, em torno de 109,4 °C com 95,52%, corresponde à perda de água. O segundo evento, um pico observado entre 270,19 °C e 78,11% até 370,06 °C e 38,19%, está relacionado à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O terceiro ocorre entre 472,2 °C e 19,80% até 520,70 °C e 9,066%, também associado à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O último evento corresponde aos resíduos de óxidos remanescentes.

Cada cor na curva TG/DTG acima representa o mesmo material CL em diferentes razões de aquecimento. Notou-se o deslocamento dos valores para as temperaturas mais altas e com isso verificou-se a precisão da técnica, pois todos estão nas mesmas regiões de perdas. A atmosfera em ar sintético por ser altamente oxidante, promove reações de liberação de energia pela formação do gás carbônico, portanto é um evento exotérmico.

Na Figura 4 apresentam-se os resultados da análise térmica da casca liofilizada do fruto de *Cordia dichotoma* em atmosfera de N₂ e Ar atmosférico.

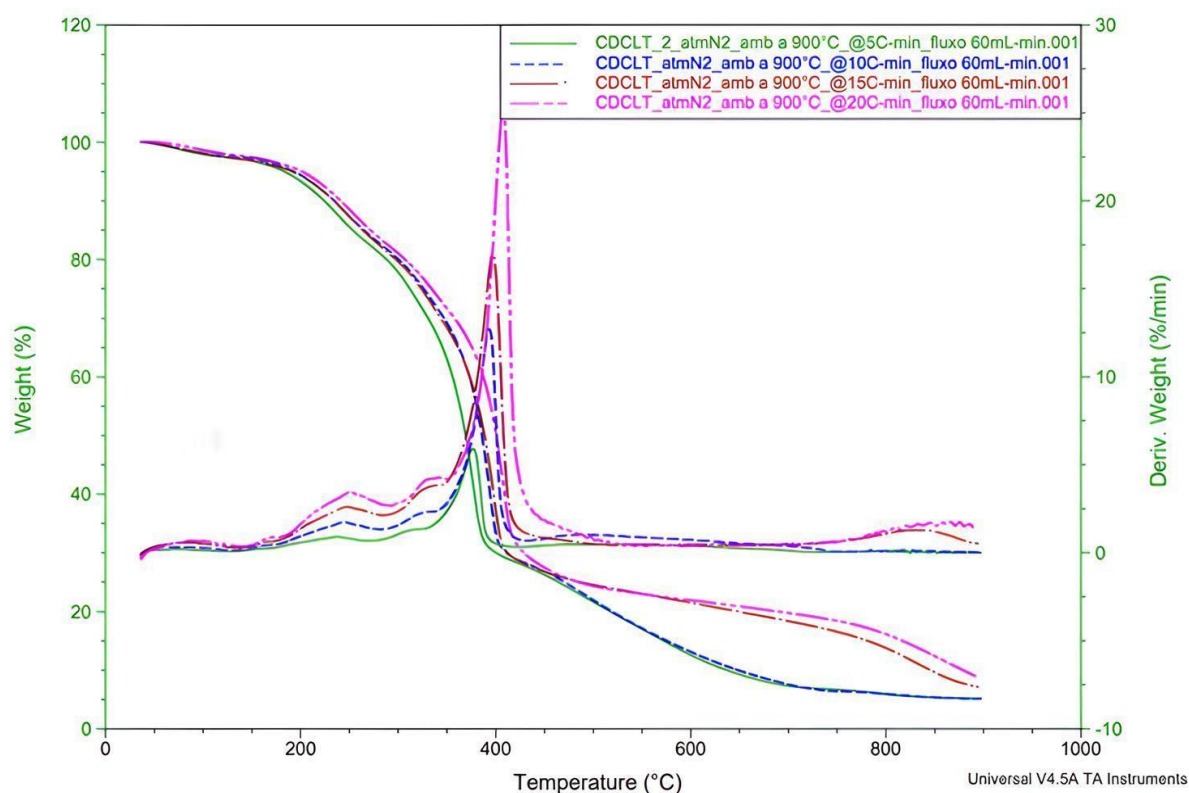


Figura 4. Curva termogravimétrica de amostras CL do fruto *Cordia dichotoma*.

Na análise da curva TG/DTG sob atmosfera de nitrogênio, identificou-se a quebra das ligações químicas. Devido à natureza inerte da atmosfera, a decomposição das frações em partes menores exige a absorção de energia. Diferentemente do que acontece na atmosfera de ar sintético (oxidante), onde os resíduos são óxidos, nesta atmosfera inerte, os resíduos são formados em óxidos,

carvão e carbonatos. Os eventos observados na atmosfera de N₂ são endotérmicos, ou seja, envolvem a absorção de calor. No total, quatro eventos principais foram detectados na curva derivada desta análise.

A análise da curva de N₂ TG/DTG revelou quatro eventos principais. A leitura foi focada na DTG. O primeiro evento, identificado em torno de 122,36 °C com 97,42% da massa, corresponde à perda de água. O segundo evento, um pico observado entre 273,60 °C e 81,87% da massa até 406,89 °C e 52,88% da massa, está relacionado à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O terceiro pico foi observado a 720,68 °C e 8,315% da massa, associado também à decomposição de carboidratos, lipídeos e proteínas. O último evento corresponde aos resíduos remanescentes.

De acordo com Reddy et al. (2020), identificou-se um comportamento térmico similar nos eventos analisados. A perda de umidade ocorre a 120 °C, e os materiais mostram estabilidade térmica entre 350 °C e 400 °C. Além disso, em atmosferas de N₂, observou-se um pico endotérmico em torno de 122 °C e 97,42%, um fenômeno também relatado por Pawar et al. (2018) próximo a 119,5 °C. Por meio de análise termogravimétrica (TGA) Loganathan et al. (2023), evidenciou que a fibra dessa espécie melhorou a estabilidade térmica de compostos de PLA, em relação à resina PLA pura, enquanto Reddy et al. (2023) desenvolveram um composto híbrido biodegradável com resistência de até 415 °C.

Os resultados mostraram que a casca liofilizada do fruto da *Cordia dichotoma* tem estabilidade térmica de até 120 °C, indicando um grande potencial para a produção de embalagens biodegradáveis ativas com excelente resistência térmica, em comparação à produção de embalagens ativas.

Conclusão

Os frutos avaliados neste estudo apresentaram teores de fenóis totais consideravelmente superiores a outros frutos da mesma família, sendo que o uso da água como solvente otimizou a extração destes compostos nas condições avaliadas. Os resultados indicam que o fruto de *Cordia dichotoma* tem potencial para elaboração de embalagens ativas, com propriedades antioxidantes. O estudo não demonstrou atividade antimicrobiana frente aos microrganismos pesquisados indicando a necessidade de estudos adicionais testando outros solventes ou outras metodologias de extração. Além disso, a análise termogravimétrica revelou estabilidade térmica da casca liofilizada de até 120 °C, o que reforça sua viabilidade no processamento de filmes biodegradáveis.

Esta pesquisa demonstra o potencial de uso da espécie estudada no campo da tecnologia de embalagens para alimentos. A combinação de análises térmicas com o estudo das propriedades bioativas e potencial antimicrobiano do fruto abrem novos caminhos na ciência de alimentos e embalagens, ressaltando a importância de abordagens inovadoras e sustentáveis no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias.

Agradecimentos

Agradecimentos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) e a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS).

Referências

Angelo, P. M., & Jorge, N. (2007). Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 66.(1), 1–9. doi.org/10.53393/rial.2007.66.32841

Bauer, A. W., Kirby, W. M. M., Sherris, J. C., & Turck, M. (1966). Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. *American Journal of Clinical Pathology*, 45(4), 493–496.

Bittencourt, V. R., Grassi, L. I., Schu, A. I., & Dalla Nora, F. M. (2020). Embalagens ativas como novas abordagens sustentáveis e ambientalmente corretas: Uma revisão da literatura. In S. Verruck (Ed.), *Avanços em ciência e tecnologia de alimentos* (Vol. 2, pp. 217–232). Científica Digital. doi.org/10.37885/201102207

Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2010). *Farmacopeia Brasileira* (Vol. 1). Anvisa. <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia/farmacopeia-brasileira/arquivos/8000json-file-1>

Collee, J. G., & Fraser, A. G. (1989). *Practical medical microbiology* (14th ed.). Churchill Livingstone.

Cowan, M. M. (1999). *Cowan and Steel's manual for the identification of medical bacteria* (3th ed.). Cambridge University Press.

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*, 15(10), 7313–7352. doi.org/10.3390/molecules15107313

Felhi, S., Daoud, A., Hajlaoui, H., Mnafigui, K., Gharsallah, N., & Kadri, A. (2016). Solvent extraction effects on phytochemical constituents profiles, antioxidant and antimicrobial activities and functional group analysis of *Ecballium elaterium* seeds and peels fruits. *Food Science and Technology*, 36(3), 592–600. doi.org/10.1590/1678-457X.23516

Ferreira, J. A. (2015). *Caracterização química da laranjinha-de-pacu (Pouteria glomerata) (MIQ.) RADLK) e elaboração de sorvete* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul]. Repositório UFMS. <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/2341>

Gram, H. C. (1884). Über die isolierte Färbung der Schizomyceten in Schnitt- und Trockenpräparaten. Fortschritte der Medizin, 2, 185–189.

Hussein, H. M., Abdel Kawy, M. A., Eltanany, B. M., Pont, L., Benavente, F., Fayez, A. M., Alnajjar, P., Al-Karmalawy A. A., Abdelmonem A. R., & Mohsen, E. (2024). Cognitive-enhancing effect of *Cordia dichotoma* fruit on scopolamine-induced cognitive impairment in rats: Metabolite profiling, in vivo, and in silico investigations. *RSC Advances*, 14(54), 40267–40286. doi.org/10.1039/D4RA06991A

Ibrahim, A. Y., El-Newary, S. A., & Ibrahim, G. E. (2019). Antioxidant, cytotoxicity and anti-tumor activity of *Cordia dichotoma* fruits accompanied with its volatile and sugar composition. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(1), 29–37. doi.org/10.1016/j.aoas.2019.05.008

Ionashiro, M., & Giolito, I. (2004). Fundamentos da termogravimetria, análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial. Giz Editorial.

Ionashiro, M., Caires, F. J., & Gomes, D. J. C. (2014). *Fundamentos da termogravimetria e análise térmica diferencial / calorimetria exploratória diferencial* (2ª ed.). Giz Editorial.

Jamkhande, P. G., Ghante, M. H., Barde, S. R., & Ajgunde, B. R. (2019). Antimycobacterial, antimicrobial, antioxidant activities and in silico PASS investigations of root fractions and extract of *Cordia dichotoma* Forst. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 19(4), 485–496. doi.org/10.1007/s13596-019-00399-5

Jdaini, K., Alla, F., Mansouri, F., Parmar, A., & Elhoumaizi, M. A. (2023). Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from date palm fruit by simplex-centroid solvent mixture design. *Heliyon*, 9(1), e12738. doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12738

Landim, A. P. M., Bernardo, C. O., Martins, I. B. A., Francisco, M. R., Santos, M. B., & de Melo, N. R. (2016). Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. *Polímeros*, 26, 82–92. doi.org/10.1590/0104-1428.1897

Loganathan, K., Giri, R., Srinivasan, S. P., & Vimalanathan, P. (2023). Experimental investigation on mechanical, thermal, DMA, and dielectric analysis of *Cordia dichotoma* with PLA composites.

Biomass Conversion and Biorefinery, 14(24), 31789–31804. doi.org/10.1007/s13399-023-04882-7

MacFaddin, J. F. (2000). *Biochemical tests for identification of medical bacteria* (3th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Matias, E. F. F., Alves, E. F., Silva, M. K. do N., Carvalho, V. R. de A., Coutinh, H. D. M., & da Costa, J. G. M. (2015). The genus *Cordia*: Botanists, ethno, chemical and pharmacological aspects. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(5), 542–552. doi.org/10.1016/j.bjp.2015.05.012

Nariya, P., Bhalodia, N., Shukla, V., & Acharya, R. (2011). Antimicrobial and antifungal activities of *Cordia dichotoma* (Forster F.) bark extracts. *AYU (An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda)*, 32(4), 585–589. doi.org/10.4103/0974-8520.96138

Ongaratto, G. C., Vital, A. C. P., & Prado, I. N. do. (2022). Embalagens ativas e inteligentes para proteção da carne e seus derivados: Revisão. *Pubvet*, 16(4), 1–11. doi.org/10.31533/pubvet.v16n04a1091.1-11

Patel, S. R., Lambole, V., Gajera, V., Shah, D. P., & Mistry, S. N. (2019). *Cordia dichotoma* Forst: A review on its medicinal properties. *Pharma Science Monitor*, 10(1), 1–7. https://www.pharmasm.com/pdf_files/20190628010315_01_shital

Pawar, H. A., Gavasane, J. G., & Choudhary, P. D. (2018). Extraction of polysaccharide from fruits of *Cordia dichotoma* G. Forst using acid precipitation method and its physicochemical characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 115, 871–875. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.146>

Raghuvanshi, D., Sharma, K., Verma, R., Kumar, D., Kumar, H., Khan, A., Valko, M., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., & Kuca, K. (2022). Phytochemistry, and pharmacological efficacy of *Cordia dichotoma* G. Forst. (Lashuda): A therapeutic medicinal plant of Himachal Pradesh. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113400. doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113400

Reddy, B. M., Reddy, R. M., Reddy, D. M. S., Ananthakrishna, N., & Reddy, P. V. (2020). Development and characterisation of Cordia Dichotoma Fibre / Granite filler reinforced polymer

blended (Epoxy/Polyester) hybrid composites. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 8(1), 461–477. doi.org/10.1080/2374068X.2020.1815138

Reddy, K. H., Reddy, B. M., Reddy, R. M., Reddy, P. V., Reddy, Y. V. M., & Rao, H. R. (2023). Effects of carbon fiber hybridization on mechanical, structural, and thermal properties of *Cordia dichotoma* fiber-reinforced epoxy composite. *Journal of Natural Fibers*, 20(2), e2216950. doi.org/10.1080/15440478.2023.2216950

Roesler, R., Malta, L. G., Carrasco, L. C., Holanda, R. B., Sousa, C. A. S., & Pastore, G. M. (2007). Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27(1), 53–60. doi.org/10.1590/S0101-20612007000100010

Saath, K. C. de O., & Fachinello, A. L. (2018). Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 56(2). doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560201

Singh, N., Yadav, V., & Kinge, D. (2022). Phytochemical and free radical scavenging activity of underutilized plant, *Cordia dichotoma*. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 11(2), 100–103. https://www.pharmasm.com/pdf_files/20190628010315_01_shital.pdf

Singh, S., Habib, M., Rao, E. S., Kumar, Y., Bashir, K., Jan, S., & Jan, K. (2025). Uma visão geral abrangente de filmes de embalagem biodegradáveis: Parte I — fontes, aditivos e métodos de preparação. *Discover Food*, 5(41). doi.org/10.1007/s44187-025-00303-y

Singleton, V. L., & Rossi Jr., J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178. doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

Tripathi, R. K. P. (2023). Current trends and future prospects on the therapeutic potential of *Cordia dichotoma* G. Forst.-A valuable folk medicine. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 23(17), 1579–1605. doi.org/10.2174/1568026623666230427114318

Yaermainaiti, S., Wu, T., & Aisa, H. A. (2021). Bioassay-guided isolation of antioxidant, antimicrobial, and antiviral constituents of *Cordia dichotoma* fruits. *Industrial Crops and Products*,

172,

113977.

doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113977

Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 165-199. doi.org/10.1111/1541-4337.12322