



Extração e Caracterização do Óleo de Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) para Desenvolvimento de Resina Fotopolimerizável Aplicável em Impressão 3D

Alyne Pereira de Oliveira Ribeiro^{1*}(PQ), Adriel Guilherme de Paula oliveira²(PQ), Francisco Xavier Nobre³(PQ).

¹Programa Multicêntrico de Pós-Graduação em Bioquímica e Biologia Molecular (PMBqBM- UEA); Avenida Carvalho Leal, 1777, Cachoeirinha, Manaus - Amazonas – Brasil.

²Instituto Federal do Amazonas (IFAM). Departamento Acadêmico de Química, Ambiente e Alimentos – DQA; Avenida Sete de Setembro, 1975 - Centro, Manaus – AM.

³Instituto Federal do Amazonas (IFAM). Departamento Acadêmico de Química, Ambiente e Alimentos – DQA; Avenida Sete de Setembro, 1975 - Centro, Manaus – AM.

*alyne.chemistry@gmail.com

Palavras-Chave: Óleo de tucumã; Impressão 3D; Biorresinas fotopolimerizáveis.

Introdução

O tucumã-do-amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) é uma oleaginosa abundante na região amazônica e rica em ácidos graxos. Seu óleo, possui grande potencial de aproveitamento tecnológico e valor agregado na bioeconomia. Embora seja amplamente utilizado nas indústrias alimentícia e cosmética, novas aplicações vêm sendo exploradas. Entre elas destaca-se sua modificação química para uso em resinas fotopolimerizáveis.



Figura 1: (a) árvore Tucumã; (b) Fruto do Tucumã; (c) Resina fotopolimerizável do Tucumã. Fonte: Adaptado de MACÊDO (2015).

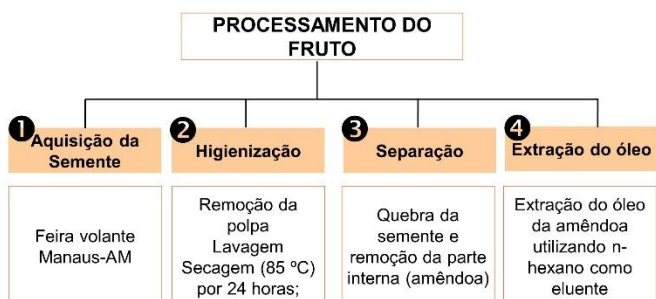
Resultados e Discussão

A caracterização físico-química (Tabela 1 e 2) do óleo da amêndoa de tucumã apresentou índice de saponificação de 247,66 mg KOH/g, índice de iodo de 5,10 g I₂/100 g, índice de acidez de 2,58 mg KOH/g e índice de peróxidos de 5,20 mEq O₂/kg, valores compatíveis com os reportados na literatura e adequados para modificação química.

Tabela 1: Propriedades químicas do óleo de tucumã

Caracterização	Tipo	Metodologia	Amostra de óleo	Bora et al. (2001)	Barbosa et. al. (2009)	Brasil (2021)*	Codex Alimentarius (1999)**
Índice de Saponificação (mg KOH/g óleo)	Química	(IAL, 2008)	247,66	231,4	245	-	230 - 254
Índice de Iodo gI ₂ /100g óleo	Química	(IAL, 2008)	5,10	12,5	8,3	-	14,1 - 21
Índice de Acidez (mg KOH/g óleo)	Química	(IAL, 2008)	2,58	1,67	1,98	10,0	10,0
Índice de Peróxido (mEq O ₂ /1000g óleo)	Química	(IAL, 2008)	5,20	0,46	5,0	15,0	-

Material e Métodos



CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO ÓLEO

Índice de Acidez Índice de Iodo Índice de Peróxido Índice de Refração Índice de Saponificação

O óleo foi funcionalizado, mediante planejamento fatorial, avaliando-se temperatura, tempo de reação e concentração do catalisador eterato de trifluoreto de boro (BF₃.Et₂O). A biorresina obtida foi caracterizada por espectroscopia no infravermelho (FTIR), cromatografia gasosa, com detector de ionização de chama (GC-FID), espectroscopia de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (¹H RMN) e ensaios de fotopolimerização em impressora 3D da marca Creality®, com LEDs de comprimento de onda em 295 nm e plataforma com dimensões de 170 cm².

Nas propriedades físicas, o óleo apresentou densidade relativa de 0,905, índice de refração de 1,4534, viscosidade de 40,64 cSt e teor de umidade de 0,64%, demonstrando boa estabilidade físico-química.

Tabela 2: Propriedades físicas do óleo de tucumã

Caracterização	Tipo	Metodologia	Amostra de óleo	Referência	Normativa
Densidade Relativa	Física	(IAL, 2008)	0,905	Codex Alimentarius (1999)**	0,899 e 0,914
Índice de Refração	Física	(IAL, 2008)	1,4534	Bora et al. (2001)	1,448-1,452
Viscosidade	Física	(ASTM, 2021)	40,64 cSt	-	ASTM D445
Umidade e Material Volátil	Física	(IAL, 2008)	0,64%	Codex Alimentarius (1999)**	-
Cor	Física	CIE Lab*	Amarelo-esverdeado	-	-
Rendimento	Física	AOCS (1993)	47,18%	Deonarine et al. (2023)	AOCS Am 2-93

O cromatograma (Figura 3) indicou predominância dos ácidos graxos láurico (C12:0) e mirístico (C14:0), confirmando o perfil saturado do óleo. O espectro FTIR do óleo (Figura 4) revelou bandas características de triglicerídeos, como estiramento C=O em 1743 cm⁻¹ e C-H alifáticos entre 2855–2927 cm⁻¹.

Figura 3- Cromatograma do óleo da amêndoa do tucumã

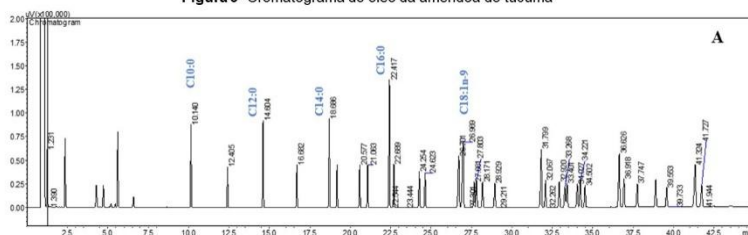
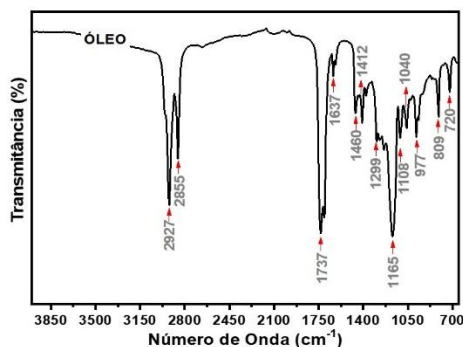


Figura 4- FTIR do óleo da amêndoa do tucumã



Após a funcionalização com ácido acrílico, o FTIR (Figura 5) mostrou nova banda em 1637 cm^{-1} , evidenciando a inserção de grupos vinílicos, enquanto a diminuição da banda em 3470 cm^{-1} indicou consumo de hidroxilas. A análise de RMN¹H (Figura 6) confirmou a acilação por meio do aparecimento de sinais entre 5,8–6,4 ppm, característicos dos prótons vinílicos, comprovando a formação da biorresina fotopolimerizável.

Figura 5- Espectros de FTIR : (I) óleo de tucumã in natura, (II) ácido acrílico, (III) óleo de tucumã funcionalizado com ácido acrílico e (IV) polímero fotopolimerizado.

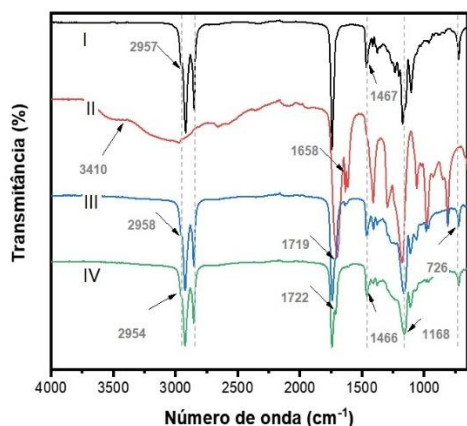
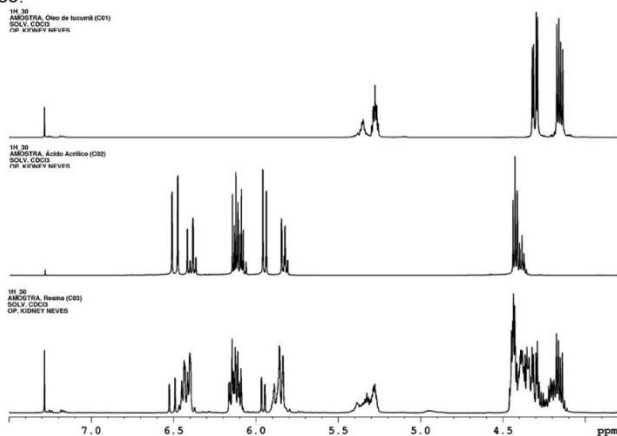


Figura 6- Espectros de ressonância magnética nuclear de hidrogênio (¹H RMN, 400 MHz, solvente CDCl₃) das amostras analisadas: (C01) óleo de tucumã, (C02) ácido acrílico e (C03) biorresina obtida após funcionalização do óleo.



Conclusões

O óleo da amêndoa do tucumã apresentou propriedades físico-químicas adequadas para modificação química e aplicação tecnológica. As análises de FTIR e RMN confirmaram a modificação estrutural do óleo. Os resultados evidenciam o elevado potencial do tucumã, especialmente do caroço, cuja amêndoa é rica em óleo e geralmente descartada como resíduo. Esse subproduto configura-se como uma matéria-prima sustentável para a produção de biorresinas, promovendo a bioeconomia e agregando valor à biodiversidade amazônica.

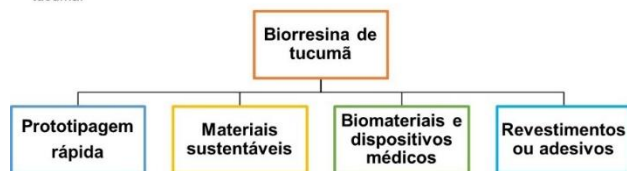
A Figura 7 destaca a sequência completa de processamento, desde o fruto *in natura* do tucumã, separação do endocarpo, moagem da amêndoa, óleo extraído, biorresina e por fim a produção do protótipo impresso em 3D. Essa representação visual destaca o potencial de valorização da matéria-prima amazônica renovável, transformando o que até então seria descartável, em um insumo com aplicação tecnológica.

Figura 7- Sequência de processamento do fruto do tucumã até a obtenção do protótipo impresso em 3D. Da esquerda para direita: fruto do tucumã, caroço do tucumã, amêndoa do tucumã moída, amostra de óleo funcionalizada, protótipo impresso em 3D.



A versatilidade do material desenvolvido amplia significativamente suas possibilidades de aplicação em diferentes contextos tecnológicos, especialmente por se tratar de uma biorresina fotopolimerizável de origem renovável. A Figura 8 ilustra algumas das possíveis áreas de aplicação para a resina obtida a partir do óleo da amêndoa do tucumã.

Figura 8- Exploração tecnológica da biorresina fotopolimerizável derivada do óleo de tucumã.



A biorresina fotopolimerizável derivada do óleo de tucumã mostrou potencial para aplicações em prototipagem 3D, materiais sustentáveis e revestimentos. Os resultados evidenciam uma alternativa renovável alinhada à bioeconomia amazônica.

Agradecimentos



Referências

- ANVISA, A. N. DE V. S. Instrução Normativa - in N° 87, De 15 De Março De 2021. *Frontiers in Neuroscience*, v. 14, n. 1, p. 1–13, 2021.
- CLAUDIO KIELING, A.; PEREIRA SANTANA, G.; CRISTINA DOS SANTOS, M.; CASSIA CASTRO JAQTINON, H. DE; CÉSAR PANTALEÃO MONTEIRO, C. Cadeia do tucumã comercializado em Manaus-AM. *Scientia Amazonia*, n. 2, p. 1–9, 2019.
- CODEX ALIMENTARIUS. Standard for named vegetable oils (CXS 210-1999). FAO/WHO. 2019.
- DIDONET, A. A.; ANTONIASSI, R.; BACK, G. R.; FARIA-MACHADO, A. F. DE; WILHELM, A. E.; FERRAZ, I. D. K. Characterization of Amount and Quality of Tucuman Kernel Oil as a Potential Biomass. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 97, n. 9, p. 955–962, 2020.
- FREITAS, F. A. DE et al. Biodiesel production from tucumã (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) almond oil applying the electrolytic paste of spent batteries as a catalyst. *Renewable Energy*, v. 191, p. 919–931, 2022.
- HU, Y.; LUO, Z.; BAO, Y. Trends in Photopolymerization 3D Printing for Advanced Drug Delivery Applications. *Biomacromolecules*, 2024.
- IAL, I. A. L. 1a Edição Digital. Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos, p. 1020, 2008.
- MACHADO, A. P. DA F.; NASCIMENTO, R. DE P. DO; ALVES, M. DA R.; REGUENGO, L. M.; MAROSTICA JUNIOR, M. R. Brazilian tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) and tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*) fruits: bioactive composition, health benefits, and technological potential. *Food Research International*, v. 151, n. August 2021, p. 110902, 2022.