



APLICAÇÃO DA CASCA DE TUCUMÃ NA PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA: COMPOSIÇÃO LIGNOCELULÓSICA, RENDIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DA MEMBRANA

Ana Emília M. de Freitas¹; Maria Lucidalva Ribeiro de Sousa¹; Wyvirlany V. Lobo²; Kaori K. Y. Isla³; Flávio A. de Freitas^{2,3}; Ariane Mendonça Kluczkowski¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Universidade Federal do Amazonas, Setor Sul, Manaus – AM, 69080-900, Brazil.

²Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Amazonas, Setor Norte, Manaus – AM, 69080-900, Brazil.

³Núcleo de Materiais e Energia, Centro de Bionegócios da Amazônia – FUEA-CBA, Av. Gov. Danilo de Matos Areosa, 690 - Distrito Industrial I, Manaus - AM, 69075-351, Brazil.

emiliamargarido@gmail.com

Palavras-Chave: SCOBY, kombucha, economia circular.

Introdução

A geração de resíduos agroindustriais constitui um desafio para a gestão ambiental, mas também representa uma oportunidade para o desenvolvimento de processos alinhados aos princípios da economia circular. Cascas, sementes, bagaços e fibras podem conter carboidratos, compostos nitrogenados, minerais e moléculas bioativas passíveis de aproveitamento como insumos biotecnológicos. Nesse contexto, diferentes resíduos vegetais têm sido avaliados como substratos alternativos para a produção de celulose bacteriana, com desempenho dependente da composição química, do tratamento da biomassa e das condições de cultivo (TSOUKO et al., 2020; TAOKEAW et al., 2023; QUIJANO et al., 2024).

Entre as espécies nativas de relevância econômica, social e nutricional na Amazônia, destaca-se o tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum* Meyer), cujos frutos são amplamente comercializados e consumidos, especialmente em Manaus. O aproveitamento da polpa para consumo direto e preparo de alimentos gera cascas, caroços e outros resíduos. Em levantamento realizado em Manaus entre maio de 2011 e abril de 2012, foram registradas 268,5 t de resíduos provenientes dessa cadeia produtiva, com média mensal de 22,4 t. Embora histórico, esse dado evidencia a magnitude potencial desse fluxo residual e a necessidade de alternativas para sua valorização (DIDONET, 2012; OLIVEIRA; RIOS, 2014; SOUZA; LIMA, 2019).

A casca de tucumã, apresentada na Figura 1, é uma biomassa lignocelulósica ainda pouco aproveitada tecnologicamente. Estudos anteriores demonstraram a presença de celulose, hemiceluloses, lignina, proteínas, minerais, lipídios, compostos fenólicos e carotenoides, além de seu potencial como fonte de carbono para a produção de enzimas e obtenção de açúcares por hidrólise (SANTOS, 2021; PINHEIRO et al., 2026). Sua caracterização química é, portanto, essencial para compreender a disponibilidade de constituintes solúveis e estruturais e orientar seu aproveitamento em processos fermentativos.



Figura 1. Fruto de tucumã e suas cascas, resíduo agroindustrial abundante com potencial de aplicação na produção de celulose bacteriana. Fonte: Autores.

A celulose bacteriana é um biopolímero sintetizado principalmente por bactérias do gênero *Komagataeibacter*. Formada por cadeias de glicose conectadas por ligações β -1 $\rightarrow$ 4-glicosídicas e organizadas em uma rede tridimensional de nanofibrilas, apresenta elevada pureza, área superficial e capacidade de retenção de água, características que favorecem aplicações em biomateriais, embalagens, produtos biomédicos e materiais destinados ao setor têxtil e à moda sustentável (LIN et al., 2020; CAZÓN; VÁZQUEZ, 2021; GUEVARA et al., 2025).

Além de culturas bacterianas isoladas, a celulose pode ser produzida por consórcios simbióticos de bactérias e leveduras, denominados SCOBY (*Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts*), tradicionalmente associados ao kombucha. Convencionalmente, o SCOBY é cultivado em infusão açucarada de chá preto ou chá verde, ambos provenientes de *Camellia sinensis*. Durante o cultivo estático, as bactérias acéticas sintetizam uma película celulósica na interface ar-líquido. O rendimento e as características da membrana dependem da composição do meio, da disponibilidade de nutrientes, do pH, da temperatura, do tempo de fermentação e da quantidade de substrato empregada (LAAVANYA; SHIRKOLE; BALASUBRAMANIAN, 2021; BORRO et al., 2023; SILVA et al., 2024).

A substituição da infusão convencional por extratos ou infusões preparados com resíduos vegetais pode integrar a produção de celulose bacteriana à valorização de subprodutos agroindustriais e reduzir a dependência de matérias-primas comerciais. Estudos com casca de uva, miolo de abacaxi, casca de laranja e outros resíduos demonstram que essas matrizes podem transferir açúcares, minerais, compostos nitrogenados e substâncias fenólicas ao meio fermentativo, embora sua eficiência dependa da fração efetivamente solubilizada e da possível presença de compostos inibidores (MARDAWATI et al., 2023; SILVA et al., 2024; QUIJANO et al., 2024).

Diante disso, este trabalho teve como objetivo caracterizar a composição lignocelulósica da casca de tucumã, avaliar diferentes concentrações de sua infusão na produção de celulose bacteriana por SCOBY, comparar o rendimento com o obtido em chá verde e caracterizar o aspecto, o teor de matéria seca e o perfil de FTIR-ATR das membranas.



Material e Métodos

As cascas de tucumã foram coletadas em feiras de Manaus (AM) e processadas no Centro de Bionegócios da Amazônia. O resíduo foi lavado, sanitizado em solução de hipoclorito de sódio 1% (v/v) por 15 min, novamente lavado, seco em estufa com circulação de ar a 60 °C por 12 h e moído em moinho Tigre A4. A composição lignocelulósica foi determinada antes da autoclavagem em triplicata. A umidade foi obtida conforme AOAC (2016), utilizando 2,5 g de amostra em analisador IV3100 (Gehaka), a 160 °C. Os extrativos foram determinados por extração de 4,0 g de amostra seca em Soxhlet com 200 mL de etanol 70% por 4 h. Lignina insolúvel pelo método de Klason, holocelulose e α -celulose foram determinadas segundo Moraes, Rosa e Marconcini (2010), e o teor de hemiceluloses foi calculado pela diferença entre holocelulose e α -celulose. Parte do material foi esterilizada em autoclave Fanem 415 a 126 °C por 15 min para os ensaios fermentativos.

Para a produção de celulose bacteriana (CB), 2,5, 5,0 e 10,0 g de casca foram submetidos à infusão em água destilada em ebulição por 5 min. Após filtração em algodão, adicionaram-se 50 g de sacarose, 100 mL de *starter* e uma membrana de SCOBY com massa úmida de aproximadamente 20 g, ajustando-se o volume final para 1,0 L. Os cultivos foram mantidos estaticamente por 12 dias, a 28 ± 3 °C. Como controle, utilizou-se infusão de chá verde (*Camellia sinensis*) a 5,0 g L⁻¹ nas mesmas condições. Os experimentos foram feitos em triplicata. As membranas foram removidas, submetidas à retirada padronizada do excesso de líquido e pesadas úmidas. O rendimento foi com nase na Equação 1:

$$Y = \frac{m}{V} \quad (1)$$

em que Y é expresso em g L⁻¹, m corresponde à massa úmida da membrana, em g, e V , ao volume do meio, em L.

O aspecto visual foi registrado antes da purificação. Para comparação por FTIR-ATR, analisaram-se a membrana obtida com casca de tucumã sem purificação e a membrana obtida com chá verde purificada em NaOH 6% a 50 °C por 6 h, seguida de lavagens com água destilada até pH próximo da neutralidade. Os espectros foram obtidos em espectrômetro Cary 630 com acessório ATR (Agilent Technologies), entre 4000 e 650 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ e oito varreduras por amostra.

O teor de matéria seca foi determinado pela pesagem das membranas úmidas, seguida de secagem a 105 °C até massa constante, sendo o teor de água calculado por diferença.

Resultados e Discussão

Caracterização lignocelulósica da casca de tucumã

A casca de tucumã apresentou composição lignocelulósica marcada pelo elevado teor de lignina (43,77%), além de 30,16% de celulose, 21,90% de hemiceluloses e 21,99% de extrativos (Figura 2). A elevada proporção de lignina pode estar relacionada à função estrutural e protetora da casca, pois esse polímero confere rigidez, impermeabilidade e resistência à

degradação dos tecidos vegetais (BOERJAN; RALPH; BAUCHER, 2003; LIU; LUO; ZHENG, 2018).

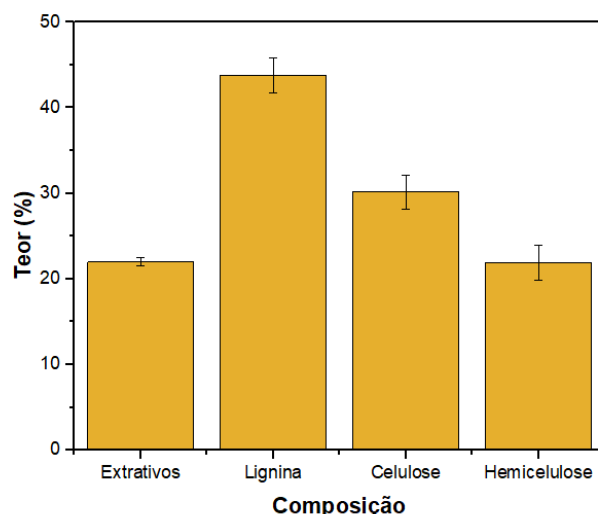


Figura 2. Composição lignocelulósica da casca de tucumã *in natura*, expressa em base seca como média $\pm$ desvio-padrão, n = 3.

O teor de lignina foi superior aos valores relatados por Sá (2023) e Santos (2021). A concentração de celulose também superou os 17,56% descritos por Sá (2023), enquanto o teor de hemiceluloses foi próximo aos valores de Santos (2021), de 16,84%, e Pinheiro et al. (2026), de 25,20%. Diferenças entre estudos podem decorrer da origem, do estágio de maturação e das condições edafoclimáticas da biomassa, além da fração analisada e do método empregado (BARROS et al., 2021).

A fração de extrativos pode conter açúcares, ácidos graxos, álcoois, ésteres, esteróis e compostos fenólicos (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010). Durante a infusão, parte desses constituintes hidrossolúveis pode ser transferida ao meio. Contudo, o teor total de extrativos não corresponde necessariamente à quantidade de carbono fermentescível, pois também pode incluir substâncias não assimiláveis ou potencialmente inibidoras (QUIJANO et al., 2024).

Produção de celulose bacteriana

Todas as infusões de casca de tucumã permitiram a atividade do consórcio SCOBY e a formação de membranas na interface ar-líquido (Figura 3). Os rendimentos úmidos obtidos após 12 dias são apresentados na Tabela 1.

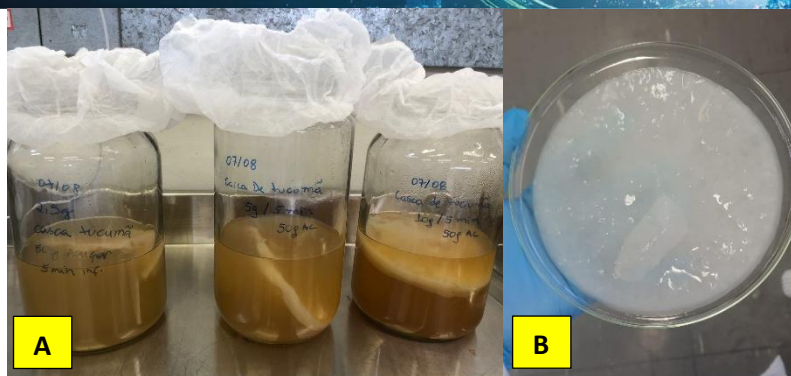


Figura 3. A) Meios de cultivo preparados com infusão de casca de tucumã, com destaque para o SCOBY; B) membrana de celulose bacteriana produzida no meio fermentado.

Tabela 1. Rendimento (média $\pm$ desvio-padrão, $n = 3$) de celulose bacteriana (CB) úmida obtida com diferentes massas de casca de tucumã (CT) obtidas em 12 dias a 28 ± 3 °C e comparativo com infusão em chá verde (controle).

Meio	Massa de substrato (g L ⁻¹)	Rendimento de CB úmida (g L ⁻¹)
Chá verde – controle (CV)*	5,0	6,24 $\pm$ 1,02
	2,5	12,92 $\pm$ 2,19
Casca de tucumã (CT)	5,0	35,12 $\pm$ 1,45
	10,0	32,79 $\pm$ 2,02

Na Tabela 1, é possível observar que, mesmo usando menos CT (2,5 g L⁻¹), o rendimento foi cerca de duas vezes maior que o do controle (5,0 g L⁻¹ de chá verde). Ao aumentar a massa de CT para 5,0 g, a infusão de tucumã rendeu uma massa de celulose úmida aproximadamente 5,6 vezes maior que a obtida com o controle. O aumento de 2,5 para 5,0 g L⁻¹ de CT elevou o rendimento em aproximadamente 172%. Entretanto, a elevação para 10,0 g L⁻¹ não promoveu ganho adicional e resultou em valor 6,6% inferior ao obtido com 5,0 g L⁻¹. Assim, 5,0 g L⁻¹ foi a melhor condição entre as avaliadas, sem que isso represente uma concentração ótima definitiva.

A resposta não proporcional pode decorrer de um limite na solubilização de nutrientes ou do aumento de sólidos e compostos potencialmente inibidores em maiores concentrações. Além disso, celulose e hemiceluloses permanecem associadas à matriz lignocelulósica e não são diretamente disponibilizadas ao consórcio durante uma infusão simples (STUDER et al., 2011; ZOGHLAMI; PAËS, 2019; YUAN et al., 2021).

Luna et al. (2025) empregaram $5,0 \text{ g L}^{-1}$ de diferentes plantas, 50 g L^{-1} de sacarose, 10% de *starter* e 24 g de SCOBY, com fermentação por 21 dias a 25°C . O meio contendo 50% de chá verde e 50% de ora-pro-nóbis apresentou $32,33 \pm 2,21 \text{ g L}^{-1}$ de membrana úmida, valor próximo ao obtido neste trabalho com $5,0 \text{ g L}^{-1}$ de CT, enquanto o controle com chá verde produziu $5,33 \pm 0,81 \text{ g L}^{-1}$.

A determinação gravimétrica mostrou que as membranas obtidas com infusões de chá verde e casca de tucumã apresentaram teores próximos de matéria seca, com média geral de 98,54% de água e 1,46% de matéria seca (Figura 4).



Figura 4. Aspecto das membranas obtidas dos diferentes experimentos após secagem a 105°C até massa constante.

A membrana produzida com casca de tucumã apresentou coloração clara e aspecto esbranquiçado antes da purificação, diferindo de membranas obtidas com chá verde, chá preto ou meios mais pigmentados. Luna et al. (2025) também observaram membranas translúcidas ou amarronzadas em função da infusão vegetal empregada, evidenciando a influência do meio sobre o aspecto visual. A coloração clara do material de tucumã sugere menor retenção de compostos coloridos, embora a aparência visual não comprove sua pureza química.

Os espectros de FTIR-ATR da membrana de tucumã não purificada e da membrana de chá verde purificada apresentaram elevada sobreposição e bandas características da celulose (Figura 5). Em ambas foram observados sinais associados ao estiramento O–H entre 3200 e 3500 cm^{-1} , ao estiramento C–H próximo de 2900 cm^{-1} e às vibrações C–O–C e C–O entre 1200 e 900 cm^{-1} . Luna et al. (2025) também observaram bandas características em 3346 , 2927 , 1632 , 1113 e 1054 cm^{-1} e não identificaram mudanças relevantes nas posições das bandas entre membranas produzidas com diferentes infusões vegetais.

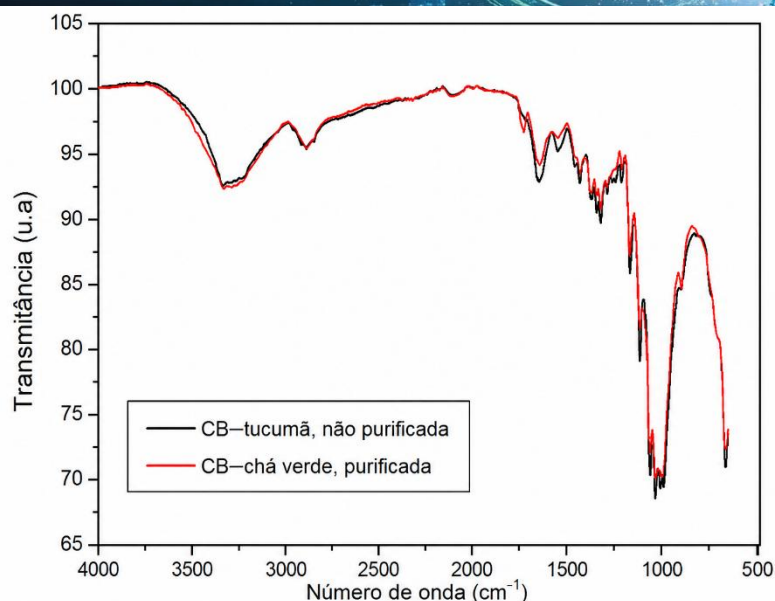


Figura 5. Espectros de FTIR-ATR da celulose bacteriana produzida com casca de tucumã, não purificada, e da celulose bacteriana produzida com chá verde, purificada.

A similaridade espectral demonstra que a membrana não purificada de tucumã apresenta a estrutura química predominante da celulose bacteriana e não exibe bandas adicionais intensas detectáveis por FTIR-ATR. Entretanto, essa comparação envolve simultaneamente meios e tratamentos diferentes e não comprova a ausência de células, proteínas, pigmentos ou outros resíduos em baixas concentrações.

A coloração naturalmente clara e a semelhança espectral indicam potencial para o emprego de tratamentos de limpeza menos severos, o que poderia reduzir o consumo de NaOH, agentes oxidantes e água, além da geração de efluentes. Essa possibilidade deve ser confirmada por análises quantitativas de cor, pureza e composição residual, bem como pela comparação das mesmas membranas antes e após a purificação.

Conclusões

A casca de tucumã apresentou frações expressivas de lignina, celulose, hemiceluloses e extrativos, evidenciando seu potencial para aproveitamento em processos biotecnológicos. As infusões preparadas com o resíduo permitiram o desenvolvimento do consórcio SCOPY e a formação de membranas de celulose bacteriana em todas as concentrações avaliadas. Entre as condições estudadas, 5,0 g L⁻¹ de casca proporcionou o maior rendimento de membrana úmida, de 35,12 ± 1,45 g L⁻¹, massa 5 vezes maior à obtida com chá verde nas mesmas condições. O aumento para 10,0 g L⁻¹ não promoveu ganho adicional, demonstrando que a produção não foi proporcional à quantidade de resíduo utilizada.



As membranas apresentaram 98,54% de água e 1,46% de matéria seca, confirmando a elevada capacidade de retenção hídrica da celulose bacteriana e a necessidade de considerar a massa seca em comparações de produtividade. A membrana obtida com casca de tucumã apresentou coloração clara mesmo sem purificação química, enquanto seu espectro de FTIR-ATR exibiu as bandas características da estrutura celulósica e elevada similaridade com a membrana purificada produzida em chá verde.

Os resultados indicam que a infusão de casca de tucumã constitui uma alternativa regional promissora ao chá convencional para a produção de celulose bacteriana. A obtenção de uma membrana naturalmente clara também sugere a possibilidade de tratamentos de purificação menos severos, com potencial redução do consumo de água e reagentes e da geração de efluentes. Entretanto, essa possibilidade deverá ser confirmada por análises complementares de pureza, composição residual e comparação das membranas antes e após a purificação.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CBA pela infraestrutura laboratorial e à FAPEAM pela concessão de bolsas às doutorandas Ana Emília M. de Freitas e Maria Lucidalva R. de Sousa e à CAPES pela concessão de bolsa à doutoranda Wyvirlany V. Lobo.

Referências

- AOAC INTERNATIONAL; LATIMER, G. W. Jr. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 20. ed. Rockville: AOAC International, 2016.
- BARROS, S. S.; OLIVEIRA, E. S.; PESSOA JUNIOR, W. A. G.; ROSAS, A. L. G.; FREITAS, A. E. M.; LIRA, M. S. F.; CALDERARO, F. L.; SARON, C.; FREITAS, F. A. Waste açai (*Euterpe precatoria* Mart.) seeds as a new alternative source of cellulose: extraction and characterization. **Research, Society and Development**, 10(7), e31110716661, 2021.
- BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. Lignin biosynthesis. **Annual Review of Plant Biology**, 54(1), 519–546, 2003.
- BORRO, J. A.; BRONZATO, G. R. F.; SOUZA, M. C.; LEÃO, A. L.; CASARINO, I. Produção de celulose bacteriana utilizando substratos alternativos no meio de cultura. **Energia na Agricultura**, 38(2), 1–13, 2023.
- CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M. Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: a review. **Food Hydrocolloids**, 113, 106530, 2021.
- DIDONET, A. A. *O mercado de um produto florestal não madeireiro e o resíduo sólido pela sua comercialização: o caso do tucumã (Astrocaryum aculeatum G. Mey.) nas feiras de Manaus*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012.
- GUEVARA, K. M.; MARTÍNEZ-VALENZUELA, G.; SÁNCHEZ-VÁSQUEZ, V.; GUERRERO-RUIZ, K.; FIALLOS-CÁRDENAS, M. Trends and perspectives on bacterial nanocellulose: a comprehensive analysis from the three helixes of innovation. **Materials Today Sustainability**, 30, 101090, 2025.
- LAHAVANYA, D.; SHIRKOLE, S.; BALASUBRAMANIAN, P. Current challenges, applications and future perspectives of SCOBY cellulose of kombucha fermentation. **Journal of Cleaner Production**, 295, 126454, 2021.
- LIN, D.; LIU, Z.; SHEN, R.; CHEN, S.; YANG, X. Bacterial cellulose in food industry: current research and future prospects. **International Journal of Biological Macromolecules**, 158, 1007–1019, 2020.
- LIU, Q.; LUO, L.; ZHENG, L. Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, 19(2), 335, 2018.



- LUNA, P. B. F. G. S.; SOUZA, K. C.; FEITOSA, R. L. M.; ANDRADE, D. S. C.; OLIVEIRA, D. K. M.; SILVA, F. S.; MELO, A. P.; VINHAS, G. M. Production and reuse of kombucha waste for cellulose production from different plants. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 35(4), e20250045, 2025.
- MARDAWATI, E. et al. Pineapple core from the canning industrial waste for bacterial cellulose production by *Komagataeibacter xylinus*. **Heliyon**, 9(11), e22010, 2023.
- MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. *Procedimentos para análise lignocelulósica*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010. 54 p. Documentos 236.
- OLIVEIRA, M. S. P.; RIOS, S. A. Potencial econômico de algumas palmeiras nativas da Amazônia. In: ENCONTRO AMAZÔNICO DE AGRÁRIAS, 2014, Belém. *Atuação das Ciências Agrárias nos sistemas de produção e nas alterações ambientais: anais*. Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, p. 1–19, 2014.
- PINHEIRO, W.; FOGASSA, A. S.; SOUZA, M. P.; PAES, O. A. R. L.; DUVOISIN JUNIOR, S.; FREITAS, F. A. Produção de açúcares a partir de resíduos lignocelulósicos da Amazônia: coroa e folhas de abacaxi, casca de tucumã e sementes de açaí. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, 18(1), 1–25, 2026.
- QUIJANO, L. et al. Bacterial cellulose cookbook: a systematic review on sustainable and cost-effective substrates. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, 9(4), 379–409, 2024.
- SÁ, K. N. *Avaliação do resíduo de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) na alimentação de ruminantes*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.
- SANTOS, K. L. B. M. *Avaliação do potencial de aplicação industrial de subprodutos da cadeia produtiva das palmeiras amazônicas açaí (*Euterpe oleracea*), tucumã do Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*) e tucumã do Pará (*Astrocaryum vulgare*)*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.
- SILVA, M. E. T.; MARTINS, J. T.; BENEVIDES, C. V.; BACH, F.; MANO, M. C. R.; MORATO, P. N. Avaliação do potencial de utilização de casca de uva no desenvolvimento de kombucha. **Nutrivisa – Revista de Nutrição e Vigilância em Saúde**, 11, e12132, 2024.
- SOUZA, F. G.; LIMA, R. A. A importância da família Arecaceae para a região Norte. **Revista EDUCAmazônia – Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, 23(2), 100–110, 2019.
- STUDER, M. H.; DEMARTINI, J. D.; DAVIS, M. F.; SYKES, R. W.; DAVISON, B.; KELLER, M.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E. Lignin content in natural *Populus* variants affects sugar release. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 108(15), 6300–6305, 2011.
- TAOKAEW, S.; NAKSON, N.; THIENCHAIMONGKOL, J.; KOBAYASHI, T. Enhanced production of fibrous bacterial cellulose in *Gluconacetobacter xylinus* culture medium containing modified protein of okara waste. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 135(1), 71–78, 2023.
- TSOUKO, E.; MAINA, S.; LADAKIS, D.; KOOKOS, I. K.; KOUTINAS, A. Integrated biorefinery development for the extraction of value-added components and bacterial cellulose production from orange peel waste streams. **Renewable Energy**, 160, 944–954, 2020.
- YUAN, Y. et al. Recent advances in understanding the effects of lignin structural characteristics on enzymatic hydrolysis. **Biotechnology for Biofuels**, 14(1), 205, 2021.
- ZOGLAMI, A.; PAËS, G. Lignocellulosic biomass: understanding recalcitrance and predicting hydrolysis. **Frontiers in Chemistry**, 7, 874, 2019.