

ANÁLISE DO POTENCIAL DO CAROÇO DE AÇAÍ PARA PRODUÇÃO DE BIOMATERIAIS: UMA REVISÃO

B. C. Vieira¹, A. A. R. de Almeida², D. de S. Cordovil², T. C. da Silva², L. C. B. de Costa², D. A. R. de Castro², B. S. S. de Sousa²

¹Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil (braian282vieira@gmail.com)

²Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Brasil

O crescente interesse por materiais sustentáveis tem impulsionado a busca por biomassas residuais para produção de biomateriais. Nesse contexto, o caroço de açaí destaca-se pela ampla disponibilidade na região amazônica e por sua composição lignocelulósica. Esta revisão analisa seu potencial como matéria-prima para obtenção de nanocelulose, abordando composição, métodos de extração, propriedades físico-químicas e aplicações em biomateriais e compósitos.

Palavras-chave: nanocelulose; biomateriais; sustentabilidade; açaí.

INTRODUÇÃO

O crescimento econômico da região norte do Brasil está intrinsecamente ligado ao açaí. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2024 a produção de açaí foi de cerca de 1.741.757 toneladas. Essa quantidade está ligada à crescente demanda nacional e internacional, uma vez que o açaí possui um alto valor agregado e nutricional, contribuindo para o desenvolvimento social e econômico da região (FARIAS et al., 2025). No entanto, os resíduos gerados por esse processo extrativo representam uma questão ambiental e econômica notável, visto que apenas 15% do fruto é aproveitado para obtenção da polpa, enquanto o restante desse material ainda apresenta baixo aproveitamento industrial (CIDREIRA et al., 2024). Em outro plano, a necessidade de compostos e materiais ecologicamente corretos tem aumentado a cada ano, visto que os já implantados na matriz industrial apresentam sérios problemas na questão ambiental (FARIAS et al., 2025). Nesse contexto, pesquisadores têm investigado materiais capazes de substituir parcialmente produtos derivados do petróleo, buscando alternativas renováveis, biodegradáveis e economicamente viáveis para a produção de compósitos e biomateriais.

A produção de biomateriais está ligada em geral ao aproveitamento de biomassas, isso pois apresentam características desejáveis, tal como a baixa toxicidade, biodegradabilidade, etc. Em especial, a celulose é um dos materiais mais estudados nesse ramo. Esse é um dos materiais abundantes no

planeta, podendo ser obtido de diversas maneiras, entre elas, a partir de biomassas lignocelulósicas. A partir da celulose, é possível extrair a nanocelulose, um material com aplicações diversas na indústria, com um potencial notável. Segundo Cidreira et al. (2024), a nanocelulose destaca-se entre os materiais de origem renovável devido à sua baixa densidade, elevado desempenho mecânico, biocompatibilidade e facilidade de modificação química.

Apesar de suas excelentes características, os processos de obtenção da nanocelulose são de alto custo, fator que impacta diretamente na pesquisa e crescimento dessa área (CIDREIRA et al., 2024). Com isso, alternativas no mundo todo são amplamente analisadas com o intuito de reduzir os custos e oferecer uma rota eficaz para a produção desse material. Nesse sentido, o caroço do açaí torna-se um importante objeto de estudo nessa área, uma vez que sua biomassa lignocelulósica é extremamente abundante, e ainda, olhando para o contexto amazônico, o aproveitamento integral desta matéria-prima representa uma alternativa promissora para a valorização desses resíduos, bem como fomentaria ainda mais a economia da região Norte.

Considerando esse contexto, a presente revisão de literatura analisará o potencial do uso do caroço de açaí para produção de biomateriais, através de uma breve análise de sua composição lignocelulósica, análise de dois métodos de extração da nanocelulose,

suas propriedades físico-químicas, bem como alguma de suas possíveis aplicações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O caroço de açaí é caracterizado em sua composição como uma semente lignocelulósica, basicamente composto por celulose, hemicelulose e lignina (FARIAS et al., 2025). A celulose pode ser descrita como um polímero natural, com altos índices de cristalinidade e ordenação de suas fibras, garantindo uma estrutura estável, com maior resistência mecânica. A lignina também pode ser caracterizada como um polímero natural, aromático, predominantemente amorfo. Já a hemicelulose, dentre as três, é a que apresenta menor grau de polimerização, e não possui cristalinidade, sendo frequentemente caracterizado como estrutura amorfa (FARIAS et al., 2025).

Quando analisado diretamente, as porcentagens lignocelulósicas variam bastante na literatura, em virtude dos métodos de extração utilizados, condições de tratamento, temperatura, etc. De acordo com Farias et al., (2025) os valores reportados para o caroço de açaí situam-se aproximadamente em 53% de celulose, 12% de hemicelulose e 22% de lignina. O potencial para biomassa do caroço de açaí não está ligado apenas às porcentagens, mas também pela grande quantidade de resíduos não utilizados. Anualmente, dezenas de milhares de toneladas de resíduos provenientes da exploração do açaí são gerados, causando uma grande acumulação desse material, que de maneira geral, não possuem aproveitamento industrial consolidado em larga escala. Nesse contexto, estudos que buscam métodos para utilização de resíduos, somado à crescente da indústria por biopolímeros que possam substituir os convencionais derivados de petróleo, colocam os compostos lignocelulósicos, tal como o açaí, como uma das principais possibilidades de estudo (FARIAS et al., 2025).

Atualmente, uma parcela considerável dos estudos na área de biomateriais concentra-se na utilização da celulose como matéria-prima, e levando em conta os dados anteriores, o açaí possui um elevado teor de celulose em sua composição. A celulose constitui uma das principais matérias-primas para obtenção da nanocelulose (NC), material amplamente investigado para aplicações em biomateriais e compósitos sustentáveis (FARIA et al., 2025). A nanocelulose é a descrita como um dos materiais com maior potencial para aplicação industrial, em virtude de suas características físicas e químicas, como alta resistência mecânica, leveza, biocompatibilidade, entre outros (CIDREIRA et al., 2024).

Os nanocristais de celulose (CNCs) assim como as nanofibrilas de celulose (CNFs) são derivados da nanocelulose, e podem ser obtidos a partir de diferentes métodos de extração, sejam mecânicos, físico-químicos, pré-tratamento, etc (FARIAS et al., 2025). Cada um desses materiais possui características específicas que podem ser vantajosas visando tipos específicos de biomateriais, a citar, os CNCs tendem a possuir maior rigidez por apresentarem alta quantidade de domínios cristalinos, enquanto as CNFs tendem a possuir um pouco mais de flexibilidade por conta de suas regiões amorfas (BURCHETT et al., 2026). A origem da celulose vai influenciar diretamente as propriedades do material, bem como o método de extração a ser utilizado, e conforme aponta o estudo de Cidreira et al., (2024) os resíduos gerados por produção indústria-agrícola são bastante promissores, justamente pela expressiva quantidade, renovabilidade e baixo custo. Nesse contexto, o caroço de açaí destaca-se pelos seus elevados teores lignocelulósicos e pela grande disponibilidade de resíduo gerado anualmente. Conforme cita Haratbar et al., (2024), a nanocelulose obtida a partir dessa biomassa apresenta propriedades adequadas para o reforço de matrizes poliméricas e aplicações em biomateriais.

Embora a maior parte dos estudos esteja voltada para a celulose, a hemicelulose e a lignina também apresentam potencial de aproveitamento. A hemicelulose pode ser convertida em açúcares úteis para a produção de biocombustíveis e produtos químicos (SAWHNEY et al., 2026). A lignina possui propriedades aromáticas, podendo assumir características termoplásticas em baixas temperaturas, isto é, pode ser empregada na produção de polímeros e filmes derivados, pode ainda ser usado como superplastificante, demonstrando parte do seu potencial (VASILE; BAICAN, 2023). Desse modo, a biomassa lignocelulósica como um todo apresenta potencial de valorização, reforçando o interesse industrial no desenvolvimento de pesquisas voltadas ao aproveitamento integral desses materiais. A busca por materiais sustentáveis exige não apenas desempenho adequado, mas também disponibilidade de matéria-prima, biodegradabilidade e viabilidade de implementação em escala industrial (BURCHETT et al., 2026). Vale ressaltar que existem diversos tipos de matérias-primas das quais é possível extrair os componentes necessários para a produção de biomateriais. A cana-de-açúcar, o capim-palha e resíduos de madeira são alguns exemplos amplamente estudados. Porém, ao olharmos para o açaí, que possui expressiva importância econômica para o Brasil, especialmente para a região Norte, observa-se uma elevada disponibilidade de resíduos

gerados anualmente. Dessa forma, além de apresentar composição lignocelulósica adequada para obtenção de produtos de interesse industrial, o caroço de açaí destaca-se por agregar valor a um resíduo abundante e ainda pouco aproveitado.

Métodos de extração

O avanço na consolidação da bioeconomia global e a consequente viabilidade comercial da nanocelulose dependem diretamente da identificação de rotas eficientes de isolamento macromolecular a partir de biomassas residuais renováveis. No âmbito do aproveitamento do bagaço de açaí (*Euterpe oleracea*), os processos de desestruturação da matriz lignocelulósica e subsequente individualização das nanofibras ou nanocristais demandam metodologias que otimizem tanto o rendimento quanto as propriedades físico-químicas do produto final. Entre as diferentes rotas tecnológicas passíveis de aplicação, a literatura científica recente coordenada por Cidreira et al. (2024) destaca, sob uma perspectiva comparativa, dois métodos fundamentais de fracionamento e obtenção: a hidrólise ácida mista e a oxidação mediada por persulfato de amônio (APS).

A primeira abordagem metodológica a ser considerada fundamenta-se na hidrólise ácida mista ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HCl}$), um processo cujo princípio termodinâmico e cinético se baseia na clivagem seletiva e preferencial das frações amorfas da celulose, preservando a integridade dos domínios altamente cristalinos. No desenho experimental estabelecido pelos autores, o isolamento dos nanocristais foi executado a partir de fibras previamente submetidas ao processo de branqueamento, utilizando uma solução aquosa ácida inorgânica composta por uma mistura estequiométrica de 1:1 de ácido sulfúrico e ácido clorídrico, sob concentração total de 41% em massa. Mantendo uma razão mássica/volumétrica constante de 1:20 entre a massa de fibra purificada e o volume da solução ácida, a reação foi conduzida em um reator sob banho térmico controlado à temperatura constante de 45 °C por um período estrito de 2 horas (Cidreira et al., 2024).

Os resultados decorrentes dessa rota de hidrólise mista revelaram parâmetros estruturais marcantes. O rendimento quantificado para o processo fixou-se em 64% em relação à massa de fibra branqueada pré tratada. Sob a perspectiva da ultraestrutura cristalina, as nanopartículas obtidas por essa via mista manifestaram o maior índice de cristalinidade entre as metodologias avaliadas no estudo, atingindo o patamar de 62%. Esta configuração estrutural conferiu aos nanocristais uma estabilidade térmica

superior, fenômeno diretamente associado à baixa densidade de grupos sulfato remanescentes na superfície celular, o que minimiza os caminhos de degradação térmica acelerada. Todavia, como implicação dessa reduzida densidade de carga aniônica superficial, constatou-se uma deficiência na estabilidade coloidal das partículas quando dispersas em meio aquoso, induzindo a fenômenos de agregação macroscópica devido à insuficiente repulsão eletrostática interpartículas (Cidreira et al., 2024).

Em contrapartida à degradação puramente hidrolítica, a oxidação mediada por persulfato de amônio ($(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$) configura-se como uma técnica multifuncional avançada, visto que conjuga a quebra catalítica ácida com a modificação química simultânea da superfície polimérica. O mecanismo reacional subjacente envolve a geração *in situ* de radicais livres sulfato ($\text{SO}_4^\cdot$), responsáveis pelo ataque e despolimerização das regiões amorfas da celulose, concomitantemente à produção de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), o qual atua na oxidação seletiva dos grupos hidroxila primários localizados na superfície das microfibrilas, convertendo-os em grupos carboxílicos. Diferenciando-se operacionalmente da hidrólise ácida, o protocolo de oxidação por APS foi aplicado diretamente sobre as fibras moídas *in natura*, apresentando granulometria controlada entre 500 e 1000 μm , dispensando etapas prévias de branqueamento químico agressivo (Cidreira et al., 2024).

O arranjo experimental da rota oxidativa envolveu a imersão da biomassa em uma solução com concentração de 1,25 M de persulfato de amônio, fixando uma razão de 1:100 entre a massa de fibra e o volume da solução reagente. O sistema foi mantido sob agitação mecânica constante por um período prolongado de 12 horas, testando-se os efeitos térmicos nas temperaturas de 60 °C, 70 °C e 80 °C. Em termos de eficiência de conversão, os rendimentos globais computados variaram entre 35% e 39% quando referenciados à massa da fibra bruta inicial. A análise das variáveis de processo demonstrou que o incremento térmico de 60 °C para 80 °C forneceu maior energia cinética ao meio, acelerando a homólise das ligações oxigênio-oxigênio do persulfato e induzindo uma maior densidade de grupos carboxílicos superficiais, conforme evidenciado pelo aumento da banda de estiramento carbonílico ($\text{C}=\text{O}$) em 1743 cm^{-1} nos ensaios de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (Cidreira et al., 2024).

Esta modificação química superficial severa promovida pelo persulfato de amônio alterou substancialmente o comportamento físico-químico da

nanocelulose. A inserção dos grupos carboxila resultou em elevados valores absolutos de potencial zeta, situados na faixa de $-25,30 \pm 0,81$ mV a $-27,49 \pm 1,07$ mV, garantindo uma barreira de repulsão eletrostática eficiente que impediu a aglomeração e conferiu excelente estabilidade coloidal duradoura às suspensões aquosas. Por fim, no que tange ao comportamento macromolecular frente ao calor, embora as amostras oxidadas via APS tenham apresentado patamares de degradação térmica ligeiramente inferiores àqueles observados na hidrólise mista, elas demonstraram um perfil de estabilidade térmica significativamente superior quando comparadas às nanoceluloses obtidas por métodos oxidativos convencionais descritos na literatura, como a oxidação mediada por TEMPO, consolidando o APS como uma alternativa robusta e integrada para o beneficiamento do bagaço de açaí (Cidreira et al., 2024).

Propriedades físico-químicas

Embora as nanofibrilas de celulose (CNFs) e os nanocristais de celulose (CNCs) sejam derivados da mesma matéria-prima, suas características físico-químicas diferem significativamente em função da estrutura e do método de obtenção (BURCHETT et al., 2026).

As CNFs apresentam estrutura semicristalina composta por regiões cristalinas e amorfas distribuídas ao longo da fibra. Essa configuração proporciona elevada razão de aspecto, flexibilidade mecânica e capacidade de formar redes tridimensionais estabilizadas por ligações de hidrogênio. Em meio aquoso, essas características favorecem a formação de suspensões com comportamento pseudoplástico e tixotrópico, propriedades importantes para aplicações em géis, revestimentos e compósitos (XU, 2024).

Por outro lado, os CNCs são constituídos predominantemente pelos domínios cristalinos da celulose, apresentando maior rigidez, maior módulo elástico e menor flexibilidade quando comparados às CNFs. Além disso, os processos de hidrólise ácida frequentemente introduzem grupos carregados na superfície das partículas, aumentando sua estabilidade coloidal em suspensão aquosa. Essas características tornam os CNCs particularmente interessantes como agentes de reforço para matrizes poliméricas e materiais estruturais (BURCHETT et al., 2026; FARIAS et al., 2025).

Dessa forma, a escolha entre CNFs e CNCs depende diretamente da aplicação desejada, uma vez que cada material apresenta vantagens específicas relacionadas

às suas propriedades estruturais, mecânicas e físico-químicas.

Aplicações

É notório que o setor industrial global atualmente busca, atualmente, alternativas mais viáveis do ponto de vista industrial e econômico, visando ao desenvolvimento sustentável e à redução do crescimento exponencial dos problemas ambientais (FARIAS et al., 2025). Diante disso, diversos métodos diferentes têm sido desenvolvidos, dentre esses se destaca a síntese de biopolímeros. Ademais, há diversos tipos de polímeros biodegradáveis dos mais diversos tipos de matérias-primas, incluindo o caroço do açaí. Além disso, o que os diferencia dos polímeros convencionais é a matéria-prima, que não prejudica tanto o meio-ambiente em comparação aos polímeros sintéticos padrões (TOZLUOGLU et al., 2023).

Se tratando dos resíduos do caroço do açaí, em específico a nanocelulose, seu potencial para aplicações industriais é bem significativo, incluindo, à princípio, a produção de painéis de resina feito com as fibras desse fruto, que podem servir de matéria-prima para a produção de móveis, o que se enquadra no objetivo de desenvolvimento sustentável das grandes indústrias (OLADELE et al., 2024). Além disso, outra aplicabilidade possível é nas indústrias aeronáuticas e automobilísticas, visto que os compósitos reforçados com as fibras do açaí se tornam um material muito mais leve quando comparado com os metais geralmente utilizados na fabricação desses automóveis e aeronaves, contribuindo para o balanceamento do peso das máquinas, tornando-as mais leves e equilibradas, uma vez que os compostos poliméricos provenientes das fibras do caroço do açaí possuem propriedades similares aos compósitos poliméricos tradicionais, tornando-os uma alternativa mais viável de produção industrial em larga escala (OLADELE et al., 2024).

Ademais, o setor dos cosméticos também pode ser mencionado quando se trata das aplicações industriais das fibras de celulose, componente esse que está presente na composição do caroço do açaí, visto que é utilizada como matéria-prima para a fabricação de produtos desse setor industrial. Além do mais, há uma grande diferença na composição dessa fruta, em específico entre a fibra e o caroço, que apresentam teores lignocelulósicos bem diferentes em alguns aspectos, enquanto o teor de celulose da fibra se aproxima de 46,2% (5,30), o do caroço se aproxima de 18,6% (1,44), evidenciando uma diferença percentual significativa para esses componentes (SANTOS; PASOLINI; COSTA, 2023).

Apesar disso, os teores de lignina tanto para o caroço quanto para a fibra apresentam valores semelhantes, correspondendo à 25,1% e 24,8%, respectivamente, indicando que esses componentes possuem potencial parecido quando se trata da síntese de novos materiais, considerando que a lignina é um polímero natural cujas propriedades possuem uma eficiência elevada quando aplicada nessa área de síntese de novos materiais, especialmente polímeros biodegradáveis (SANTOS; PASOLINI; COSTA, 2023). Além do caroço, a fibra do açaí resultante dos resíduos sólidos do mesmo também possui serventia para os mais diversos setores industriais, dentre eles as indústrias de celulose e papel se destacam, em razão do alto percentual de teor de celulose presente na fibra, como visto anteriormente (SANTOS; PASOLINI; COSTA, 2023). Esse interesse ocorre em decorrência da elevada concentração de celulose na composição da fruta, visto que a conversão das fibras residuais em polpa celulósica e papel demanda uma grande quantidade de fibras preservadas. Dessa forma, as indústrias desse setor passam a dispor de uma alternativa mais renovável e sustentável de matéria-prima para a produção. Entretanto, uma das desvantagens de utilizar esse polímero para a fabricação de papéis e celulose é a necessidade das fibras de apresentarem um alto grau de preservação, mantendo uma qualidade considerada relativamente alta para todos os processos industriais existentes. Essa exigência acaba limitando o reaproveitamento dos resíduos (OLIVEIRA et al., 2024). Em contrapartida, a extração das fibras por processadores de alimentos apresenta-se como uma alternativa viável para comunidades locais, contribuindo para o fortalecimento de uma bioeconomia sustentável.

Em síntese, existem diversas maneiras de aproveitar os resíduos do caroço e da fibra do açaí, dependendo apenas do setor em que esses materiais serão aplicados.

CONCLUSÃO

A análise realizada demonstrou que o caroço de açaí como biomassa possui um elevado potencial para a produção de biomateriais, uma vez que sua composição lignocelulósica, associada à ampla disponibilidade desse resíduo, o torna uma importante fonte de estudo para a produção de biomateriais na região amazônica. Constatou-se que a escolha do método de extração mostrou-se determinante para as características finais da nanocelulose obtida, fator que pode ser interpretado como vantagem, pois a depender do uso, métodos mais simples e de menor custo podem ser empregados, ainda sim mantendo características adequadas para diferentes aplicações. A nanocelulose obtida a partir dessa biomassa apresentou

características desejáveis para aplicação em biomateriais e compósitos. Além disso, embora a maior parte das pesquisas esteja voltada para a celulose, a hemicelulose e a lignina também apresentam possibilidades de aproveitamento, contribuindo para a valorização integral da biomassa.

Dessa forma, o caroço de açaí representa uma matéria-prima sustentável e ecologicamente correta para a produção de materiais e tecnologias que possam gerar valor agregado a um resíduo abundante e com baixo aproveitamento industrial.

REFERÊNCIAS

- BURCHETT, A.; CALLAHAN, N.; CASINI, T.; REYES, A. D. L.; DORNHOEFER, J.; JOSE, S. A.; MENEZES, P. L. Nanocellulose materials: processing, properties and application. *Nanomaterials*, [s. l.], v. 16, n. 7, art. 435, 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano16070435>.
- CIDREIRA, Anne Carolyne Mendonça; HATAMI, Tahmasb; LINAN, Lamia Zuniga; PINHEIRO, Ivanei Ferreira; GOMES, Ryan Cutrim; ROCHA, Jaciene Jesus Cardoso; MEI, Lucia Helena Innocentini. Nanocellulose extraction from acai bagasse through mixed acid hydrolysis and oxidative techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, [s. l.], v. 273, pt. 1, art. 133034, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133034>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014181302403839X>. Acesso em: 6 jun. 2026.
- FARIAS, Daniel Tavares de; LABIDI, Jalel; WACHT, Wanessa Lunardi; ROSO, Matheus da Silva; SILVA, Gabriela Teixeira da; CADEMARTORI, Pedro Henrique Gonzalez de; GATTO, Darci Alberto; PEDRAZZI, Cristiane. Cellulose nanofibrils from Euterpe oleracea residue extracted by acid hydrolysis and ultrasonic processing. *Industrial Crops and Products*, [s. l.], v. 234, art. 121502, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121502>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669025010489>. Acesso em: 6 jun. 2026.
- HARATBAR, A. M. et al. A model for tensile strength of cellulose nanocrystals polymer nanocomposites. *Industrial Crops & Products*, [s. l.], v. 213, p. 1-8, 9 jul. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118458>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669024004357>. Acesso em: 6 jun. 2026.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção de Açaí (cultivo)*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/aca-i-cultivo/br>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- OLADELE, Isiaka O.; BICHANG'A, Dennis O.; BORISADE, Domingo G.; ISOLA-MAKINDE, Baraka A.; AKINBAMIYORIN, Ilesanmi; GITHINJI, David N. Recent advances in the application of natural fibre/particle-based polymer composites in the automotive

industry: a review on sustainable development. **Matériaux & Techniques**, v. 112, n. 4, art. 402, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1051/mattech/2024020>. Acesso em: 10 jun. 2026.

OLIVEIRA, Dhimitrius Neves Paraguassú Smith de; MATOS, Lays Camila; SOUZA, Tiago Marcolino de; ARAÚJO, Elesandra da Silva; SILVA, Marcela Gomes da; CABRAL, Carla Priscilla Tavora; MENDES, Lourival Marin; ROCHA, Quinny Soares; BUFALIN, Lina. Methods for separating the lignocellulosic fibers from the açai pulping waste: quality for kraft pulping. **Cerne**, Lavras, v. 30, p. 1-10, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760202330013376>. Acesso em: 10 jun. 2026.

VASILE, C.; BAICAN, M. Lignins as promising renewable biopolymers and bioactive compounds for high-performance materials. **Polymers**, Basel, v. 15, n. 15, art. 3177, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym15153177>. Acesso em: 10 jun. 2026.

SANTOS, Matheus Maciel; PASOLINI, Fernanda Souza; COSTA, Ana Paula Oliveira. Caracterização físico-química do caroço e da fibra do açai (*Euterpe oleracea* Mart.) via métodos clássicos e instrumentais. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 9, n. 2, p. 1-14, 2023. ISSN 2447-5580. DOI: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v9i2.40688>. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe>. Acesso em: 10 jun. 2026.

SAWHNEY, D.; SHARMA, S.; SINGH, M.; KUMAR, P.; PANDEY, R. Harnessing hemicellulose: a systematic review of its role in bioethanol and value-added product synthesis from lignocellulosic feedstocks. **Bioresource Technology Reports**, v. 34, art. 102640, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102640>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X26000988>. Acesso em: 07 jun. 2026.

TOZLUOGLU, A. et al. Nanocellulose in paper and paperboard coating. In: TAGHIYARI, H. R.; MORRELL, J. J.; HUSEN, A. (org.). **Emerging Nanomaterials**. Cham: Springer, 2023. cap. 8. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17378-3_8. Acesso em: 12 jun. 2026.

XU, Jiatong; WANG, Pengguang; YUAN, Baihua; ZHANG, Hongbin. Rheology of cellulose nanocrystal and nanofibril suspensions. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 324, art. 121527, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121527>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486172300992X>. Acesso em: 10 jun. 2026.