

Alternativas sustentáveis no desenvolvimento de embalagens celulósicas

Abner Domingos
Pesquisador do Cetea

O crescimento populacional gerou um aumento do consumo de produtos e da demanda por disponibilidade em diferentes regiões, durante todo o ano. Esse cenário tem impulsionado significativamente a indústria de embalagens. Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (Abre), o valor bruto da produção física nacional de embalagens alcançou R\$ 165,9 bilhões em 2024, representando um aumento de 14,89% em relação ao ano anterior (Abre, 2025). Essa tendência de crescimento, no entanto, traz consigo desafios importantes, especialmente na gestão de resíduos pós-consumo. Dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente (Abrema) indicam que, apenas em 2023, o Brasil gerou cerca de 81 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o equivalente a 382 kg por habitante (Abrema, 2024). Nesse contexto, cresce a demanda por soluções inovadoras que conciliem desempenho técnico e responsabilidade ambiental.

As embalagens celulósicas, produzidas a partir de fibras vegetais, vêm se destacando como alternativas viáveis aos plásticos convencionais. O movimento de substituição dessas embalagens por opções baseadas em papel é conhecido como *paperization*. Diversas indústrias, de diferentes portes e segmentos, têm investido nesse processo com o objetivo de atender às crescentes exigências por redução do impacto ambiental. Segundo dados da Abre, em 2024, papelão ondulado, cartão e papel representaram cerca de 36,3% do valor bruto da produção de embalagens no Brasil, o que demonstra a importância do setor (Abre, 2025). Contudo, inovar nesse segmento exige mais do que associar materiais: é necessário repensar todo o ciclo de vida da embalagem, incorporando novas tecnologias e estratégias de valorização de resíduos.

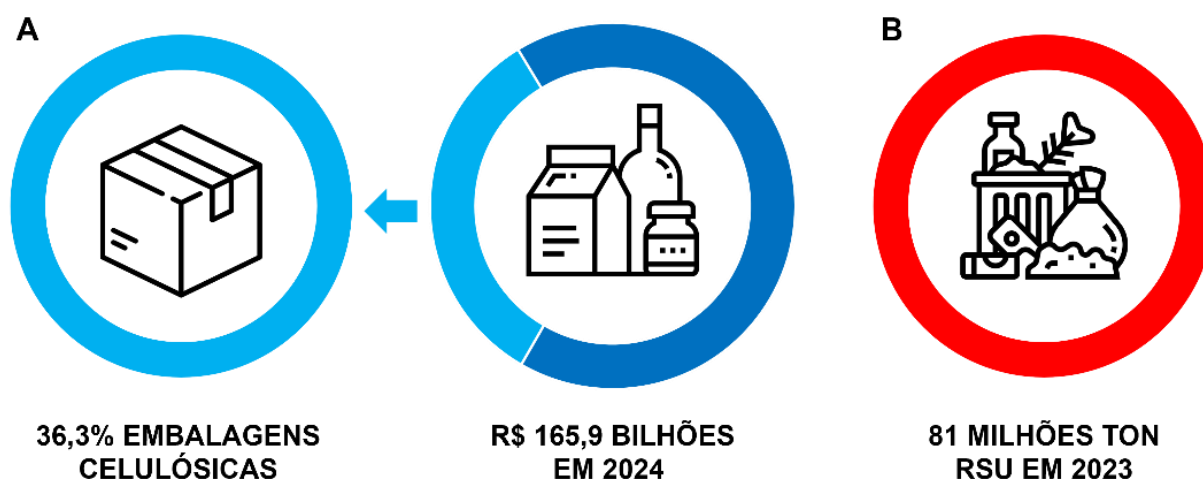


FIGURA 1: (A) Valor bruto da produção de embalagens no Brasil em 2024 (Abre, 2025) e (B) Geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2023 (Abrema, 2024).

Fontes alternativas de celulose

Atualmente, a grande maioria da celulose utilizada em embalagens vem de florestas certificadas e cultivadas com manejo sustentável. A Indústria Brasileira de Árvores (Ibá) estima que 1,8 milhão de árvores são plantadas diariamente para fins comerciais, dando origem a uma gama de produtos, como celulose, papel, embalagens, painéis de madeira, pisos laminados etc. (Ibá, 2024). No entanto, há um crescente interesse em fontes alternativas de celulose, com potencial para reduzir a pressão sobre florestas plantadas e, simultaneamente, dar destinação adequada a subprodutos agroindustriais.

Segundo Khorairi *et al.*, as fontes de celulose podem ser classificadas em quatro grupos principais: as fontes convencionais, ou primárias, consistem principalmente na madeira, amplamente utilizada na produção de papel; as fontes secundárias correspondem a resíduos não processados das indústrias alimentícia, agrícola ou florestal, como cascas, palhas e folhas; as fontes terciárias englobam subprodutos já processados, provenientes do uso ou conversão da biomassa celulósica, como polpas, bagaços e resíduos alimentares; por fim, as fontes quaternárias incluem um grupo restrito de microrganismos produtores de celulose, como certas algas, fungos e bactérias (Khorairi *et al.*, 2021).

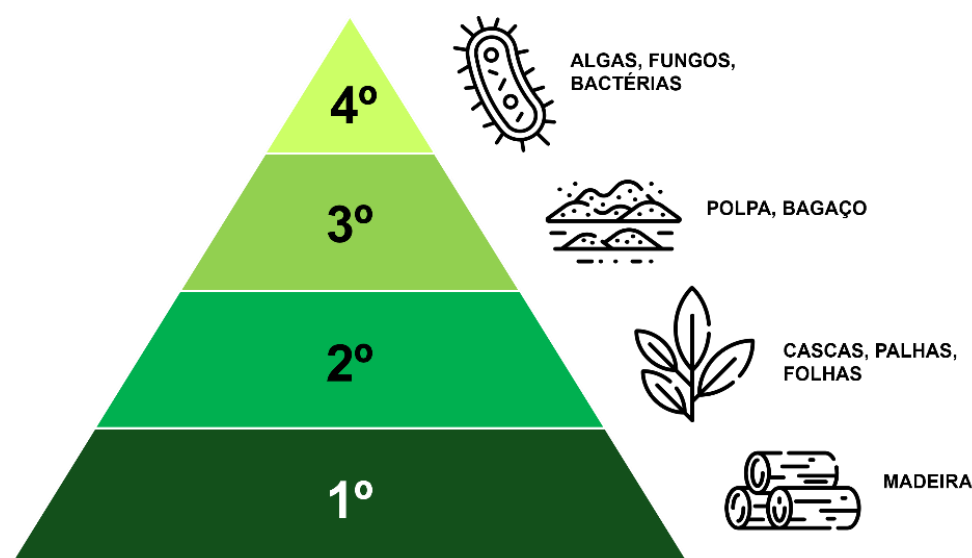


FIGURA 2: Principais fontes de celulose (Khorairi *et al.*, 2021).

Outra possibilidade que vem sendo estudada para a otimização do processo de obtenção de celulose é o uso de fontes primárias de rápido crescimento, como o bambu. Segundo Ahmad *et al.*, além de seu crescimento acelerado, o bambu apresenta outras características interessantes, como alta resistência mecânica e sucessão ecológica simplificada.

Embora representem alternativas promissoras, as fibras celulósicas oriundas de fontes não florestais ainda enfrentam desafios consideráveis em relação às fontes convencionais. A heterogeneidade do material, o reduzido comprimento das fibras após o processamento e a complexidade e variedade dos métodos de produção são fatores que demandam otimização para viabilizar sua exploração comercial em maior escala.

Revestimentos alternativos

Embora apresentem vantagens, como leveza e boa resistência mecânica, as embalagens celulósicas possuem limitações naturais quanto às propriedades de barreira, devido à sua estrutura porosa e higroscópica. Isso compromete sua eficácia na proteção contra umidade, oxigênio e gordura. Para aplicações que demandam essas características, como embalagens primárias para alimentos, é comum a aplicação de revestimentos ou camadas adicionais, geralmente compostas por filmes plásticos sintéticos (polietileno, EVOH etc.) ou folhas de alumínio. No entanto, essa combinação compromete significativamente a reciclabilidade do material como um todo.

Considerando esse cenário, alternativas mais sustentáveis estão sendo exploradas, com o intuito de conferir funcionalidades específicas ao material sem comprometer sua reciclabilidade:

- Revestimentos à base de biopolímeros: ácido polilático (PLA), polihidroxialcanoato (PHA), amido, quitosana, lignina etc. (Kunam *et al.*, 2022);
- Revestimentos à base de ceras naturais: cera de abelha, cera de soja, *biowax* etc. (Jahangiri *et al.* 2025);
- Revestimentos à base de nanocelulose: celulose nanofibrilada (CNF), nanocristais de celulose (CNC) etc. (Spagnuolo *et al.*, 2022).

Ao aplicar revestimentos em embalagens, é fundamental considerar não apenas as propriedades de barreira oferecidas, como permeabilidade ao vapor d'água, oxigênio, gordura e luz, mas também os impactos nas propriedades físico-mecânicas do material. Alterações no peso, resistência à tração, resistência ao arrebentamento, ângulo de contato e capacidade de absorção de água são aspectos que devem ser avaliados cuidadosamente durante o desenvolvimento. Outra questão a ser observada é a estabilidade dessas novas opções de revestimentos em condições de temperatura e umidade relativa elevadas, facilmente encontradas dentro da cadeia de distribuição de produtos. Por fim, a aplicação desses revestimentos deve ser escalonável e apresentar boa maquinabilidade em linhas de produção.

Design para circularidade

O design de embalagens também contribui na proteção do produto e na prevenção de perdas ao longo da cadeia logística. Quando um produto é descartado devido a falhas na embalagem, o impacto ambiental gerado é significativamente maior do que o causado pela própria embalagem. Por isso, o desenvolvimento deve priorizar estruturas mais eficientes, formatos otimizados e o uso racional de matéria-prima. O desenvolvimento de embalagens adequadas abrange o conceito de *Packaging Logistics*, área de pesquisa multifacetada, que consiste em planejar, avaliar, testar e otimizar as embalagens. O conceito de *Packaging Logistics* está integrado ao conceito de *DfE – Design for Environment*, que tem por objetivo o desenvolvimento de embalagens que reduzam seus impactos ambientais ao longo do seu ciclo de vida (Iso, 2020).

Embora as embalagens celulósicas tenham características sustentáveis por serem procedentes de fonte renovável, geram impacto ambiental quando descartadas, e esse impacto deve ser minimizado sempre que possível. Nesse contexto, uma tendência crescente é o desenvolvimento de embalagens de papel com gramaturas cada vez menores, mas que ainda mantenham as propriedades técnicas necessárias para o desempenho adequado.

Outro aspecto essencial no design de embalagens é a comunicação clara e eficaz com o consumidor. É fundamental que ele receba informações que o orientem durante toda a jornada do produto, desde a escolha na prateleira até o descarte adequado. A presença de certificações ambientais, por exemplo, pode influenciar positivamente a decisão de compra, reforçando o apoio a marcas comprometidas com a sustentabilidade.

Em resumo, a adoção de materiais celulósicos como alternativa para embalagens mais sustentáveis vai muito além da simples substituição de insumos ou da aplicação de revestimentos biodegradáveis. Trata-se de uma reavaliação extensa de todo o processo produtivo, desde a seleção das matérias-primas até a destinação da embalagem no pós-consumo.

Referências

ABRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM. *Estudo Abre macroeconômico da embalagem e cadeia de consumo*. 2025. Disponível em: <https://www.abre.org.br/dados-do-setor/2024-2/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024*. 2024. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2024/12/panorama-dos-residuos-solidos-no-brasil-2024.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2025.

AHMAD, M. I., FAROOQ, S., ZHANG, H. Recent advances in the fabrication, health benefits, and food applications of bamboo cellulose. *Food Hydrocolloids for Health*, v. 2, dez. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667025922000498>. Acesso em: 18 jul. 2025.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. *Relatório anual Ibá 2024*. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio2024.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14006:2020 – Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes para a incorporação do ecodesign*. Ed. 2. Geneva: Iso, 2020.

JAHANGIRI, A. M. F. *et al.* Wax Coatings for Paper Packaging Applications: Study of the Coating Effect on Surface, Mechanical, and Barrier Properties. *ACS Environmental Au*, v. 5, n. 2, p. 165-182, ago. 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/387138661_Wax_Coatings_for_Paper_Packaging_Applications_Study_of_the_Coating_Effect_on_Surface_Mechanical_and_Barrier_Properties. Acesso em: 17 jul. 2025.

KHORAIRI, A. N. S. A. *et al.* A Review on Agro-industrial Waste as Cellulose and Nanocellulose Source and Their Potentials in Food Applications. *Food Reviews International*, v. 39, n. 2, p. 663-688, mai. 2021. Disponível em: <https://sci-hub.se/downloads/2021-08-31/58/ahmadkhorairi2021.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

KUNAM, P. K. *et al.* Bio-based materials for barrier coatings on paper packaging. *Biomass Conversion and Biorefinery*, ago. 2022. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/bio-based-materials-for-barrier-coatings-on-paper-packaging-13n5l6wa.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SPAGNUOLO, L., D'ORSI, R., OPERAMOLLA, A. Nanocellulose for Paper and Textile Coating: The Importance of Surface Chemistry. *ChemPlusChem*, v. 87, n. 8, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/362656723_Nanocellulose_for_Paper_and_Textile_Coating_The_Importance_of_Surface_Chemistry. Acesso em: 17 jul. 2025.

As figuras desse artigo foram elaboradas usando recursos de Flaticon.com.