

Produção de Bioplásticos a Partir da Reutilização do Bagaço da Cana-de-Açúcar

Production of Bioplastics from the Reuse of Sugarcane Bagasse

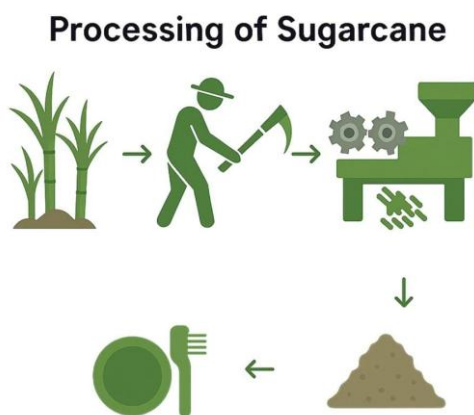
Soraya de Oliveira Morais^{a*}, Antonio Leonel de Oliveira^b

^a Universidade Estadual de Piauí (UESPI)

^b Universidade Estadual de Piauí (UESPI)

**sorayadeomorais@aluno.uespi.br*

Graphic abstract



A figura apresentada ilustra de forma sequencial o processo de produção de bioplásticos a partir do bagaço da cana-de-açúcar. E apresenta os utensílios produzidos a partir do bagaço da cana, demonstrando a aplicabilidade e a viabilidade do uso desse resíduo na fabricação de produtos sustentáveis. Essa sequência visual representa não apenas o ciclo de produção, mas também a inovação e a sustentabilidade que permeiam o nosso projeto de pesquisa.

Abstract

Sugarcane is a widely cultivated crop with great potential for the production of biomaterials through the reuse of its lignocellulosic residue. This study aimed to develop bioplastics from sugarcane bagasse using low-cost binding agents, such as casein glue and corn starch glue, in combination with a chemically untreated homemade resin. Artifacts such as plates, cutting boards, spoons, and toothbrush handles were fabricated and evaluated for mechanical strength, adhesion, permeability, and cost-effectiveness. The results demonstrated the superiority of the bioplastics produced with starch-based glue, yielding greater structural cohesion and improved physical performance compared to casein-based glue, which resulted in fragile and hygroscopic materials. The application of a homemade resin, composed of silicone glue and 70% ethanol, enhanced the rigidity and partial impermeability of the artifacts, presenting itself as an economically viable and environmentally friendly alternative. In contrast, epoxy resin, used for comparative purposes, exhibited high physical-mechanical performance and complete waterproofing, although its economic feasibility and sustainability were limited. These findings confirm that the reuse of sugarcane bagasse for bioplastic production is a promising alternative, reinforcing the principles of viable innovation aligned with the development of biodegradable materials and the reduction of environmental impacts.

Keywords: sugarcane bagasse; bioplastic; homemade resin; sustainability.

1 Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), de origem do Sudeste asiático, cultivada há séculos tem a sua cultura agrícola estendida ao redor do mundo, apresentando papel importante em alguns períodos da história por ocasionar alterações tanto econômicas quanto ecológicas¹. O bagaço da cana é composto quimicamente pela celulose, hemicelulose, lignina². Tradicionalmente, o bagaço gerado, após processamento da cana, é descartado por meio de queimadas, prática essa que acarretava impactos nocivos ao meio ambiente e assim sendo, contribuindo significativamente para a poluição ambiental³.

A celulose, é um polissacarídeo linear, composto por anéis pirânicos de glicose, tendo 90% de ligações β (1-4) glicosídicas entre monômeros. A celulose ao passar pelo processo de hidrólise tende a formar interações de hidrogênio na qual é responsável pela rigidez das cadeias unitárias e intermoleculares, associadas à formação da fibra vegetal. A hemicelulose pertence a uma classe heterogênea de polissacarídeos. apresentando baixa massa molecular sendo constituída por pentoses, hexoses e ácidos urônicos. É estruturalmente semelhante à celulose, depositando-se na parede celular antes da lignificação. A lignina, responsável por empregar rigidez à parede celular, é uma

macromolécula hidrofóbica, contendo uma estrutura tridimensional e amorfa, sendo altamente ramificada⁴.

Entretanto, atualmente o bagaço tornou-se largamente aproveitado devido a descoberta do seu potencial energético. Podendo ser reutilizado como alimento para animais e além disso, na geração de energia renovável, fabricação de papel e produção de bioplásticos⁵. O bio-hidrogênio vem sendo destacado como um grande promissor para a geração de energia renovável, principalmente, por apresentar elevado teor energético e assim não produzir dióxido de carbono (CO₂), caracterizando-se ser uma alternativa sustentável comparado aos combustíveis fósseis convencionais. Apesar da maior parte do hidrogênio ser obtido por meio de fontes fósseis, a utilização da biomassa lignocelulósica, presente na cana-de-açúcar, apresenta ser uma forma viável para a fabricação sustentável desse gás⁶.

Os autores Elkayaly e Fahim (2022)³, mostram que, o bagaço da cana-de-açúcar surge como uma fonte promissora para a fabricação de plásticos biodegradáveis. Pois o mesmo possui diversificadas propriedades físicas únicas que podem ser alteradas quimicamente. Além do mais, tanto o custo da extração quanto das modificações químicas apresenta valores relativamente baixos e de fácil tanto para as comunidades agrícolas, quanto pequenos produtores em regiões de cultivo da cana-de-açúcar.

Dentre os benefícios para o emprego de embalagens biodegradáveis em relação às não-biodegradáveis, ressalta-se primeiramente que o processo de produção ocorre utilizando substâncias atóxicas, assim sendo menos prejudicial ao meio ambiente. Além disso, é importante destacar que essas matérias-primas originadas de fontes renováveis apresentam alta biodegradabilidade e dessa maneira, a biomassa resultante da biodegradação da embalagem pode agir até como fertilizante⁷.

Diante da crescente demanda pelo uso de materiais plásticos convencionais, que não apenas apresentam elevado custo, mas também geram significativos impactos ao meio ambiente, este trabalho propõe a combinação da sustentabilidade com o reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar para a produção de peças biodegradáveis. Essa alternativa busca minimizar os efeitos nocivos dos plásticos sintéticos, ao mesmo tempo em que promove a produção de bioplásticos com viabilidade econômica e fácil acesso. Assim, contribui-se para a promoção da responsabilidade ambiental e sustentável no cotidiano

Mediante esse cenário, o trabalho visa desenvolver bioplásticos a partir da reutilização do bagaço da cana-de-açúcar, utilizando diferentes agentes aglutinantes de baixo custo, como a cola de caseína e cola de amido de milho, associado a resina artesanal e sem tratamento químico. Pretende-se analisar as propriedades físicas dos biomateriais produzidos e assim como realizar um comparativo acerca do desempenho mecânico entre a resina artesanal e epóxi, além de testar a aplicabilidade dos

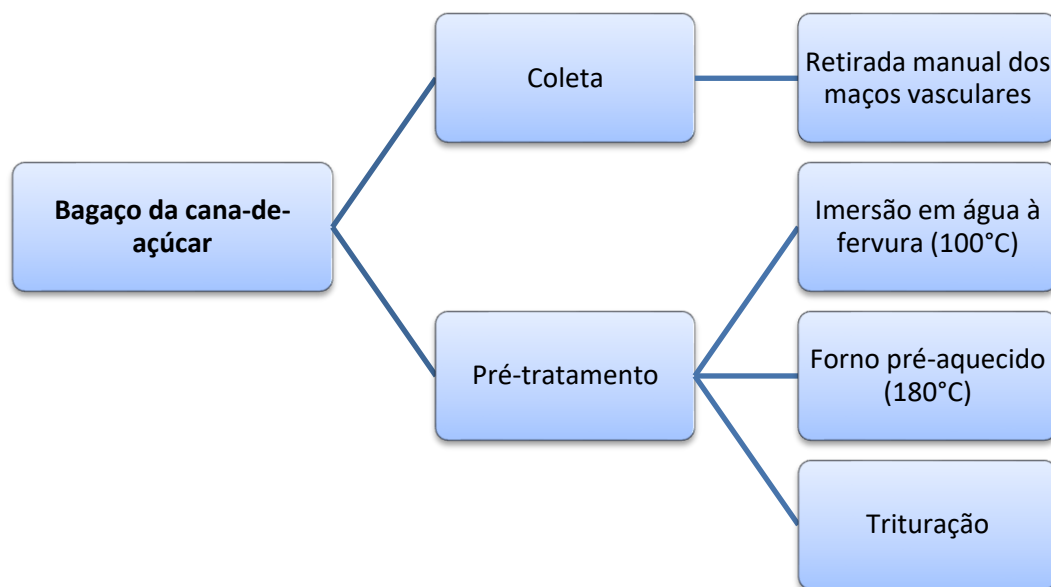
materiais produzidos em distintos artefatos. A abordagem adotada consistiu na preparação das diferentes formulações adesivas associada a moldagem de artefatos seguida da aplicação de uma resina artesanal, em que posteriormente, foram submetidas a análises das propriedades físicas, resistência mecânica, permeabilidade e verificar a aplicabilidade dos biomateriais produzido em utensílios domésticos propondo uma alternativa sustentável.

2 Método

2.1 Coleta e preparo do bagaço da cana-de-açúcar

As amostras foram coletadas em ambiente comercial de uma lanchonete localizada na cidade de Pedro-II/PI. Os resíduos coletados estavam frescos e úmidos. Após a coleta, foi retirado manualmente o bagaço interno (maços vasculares). E, como pré-tratamento, dos resíduos, foi realizado a imersão em água, por 15 minutos, para remoção de resíduos e impurezas superficiais. Em seguida, foram imersos em 2 litros de água e colocado à fervura em uma temperatura $\sim 100^{\circ}\text{C}$ durante 30 minutos para completa extração de resíduos. Por fim, deixou-se em repouso 10 minutos em água quente, e posteriormente, filtrado.

Após o pré-tratamento, o material foi distribuído em forma de alumínio, e levado ao forno elétrico pré-aquecido a 180°C por 2 horas. Finalizada a secagem, os resíduos foram submetidos à trituração em um liquidificador doméstico. O material obtido foi usado de duas formas, triturado e peneirado. O esquema 1 demonstra o procedimento ocorrido para o tratamento do bagaço da cana-de-açúcar.



Esquema 1- Tratamento do bagaço da cana-de-açúcar.

2.2 Síntese do agente ligante de caseína

A síntese seguiu a metodologia de Ferreira *et al*, (1997)⁸ com devidas adaptações. O suco de limão foi substituído pelo vinagre. A proporção de 125 mL de leite desnatado para 1g do bicarbonato

de sódio, foi alterada para 250 ml de leite desnatado para 2 g de bicarbonato. Adicionou-se 40 mL de vinagre, juntamente ao leite desnatado e misturou-se por aproximadamente 5 minutos. Após a diluição, deixou-se em repouso por 15 minutos, até observação da completa coagulação da caseína e a separação do soro sobrenadante. A mistura foi filtrada e, sequencialmente, adicionou-se 8 gramas de bicarbonato de sódio à caseína, obtida da filtragem, e homogeneizada. até se tornar uma consistência pastosa e uniforme. A cola de caseína obtida foi armazenada e mantida em repouso por 2h.

2.3 Síntese agente ligante de amido de milho

A formulação da cola de amido de milho apresentada por Fabrício e Mählmann (2014)⁹, utiliza como reagentes primários, o ácido fosfórico, fosfato de cálcio tribásico, brometo de potássio e hipoclorito de sódio 13%. Neste trabalho, utilizou-se 70 g do amido de milho, 250 mL de água e 15 mL de vinagre. Pesou-se 70 g do amido de milho e mediu-se 250 mL de água. Ambos os materiais foram transferidos para um recipiente de alumínio e levados ao aquecimento sob agitação constante. Após 2 minutos de aquecimento, adicionou-se 15 mL de vinagre. A mistura foi retirada do fogo assim que se obteve uma consistência pastosa e homogênea.

2.4 Moldagem dos materiais

2.4.1 Fibras não peneiradas

A etapa de moldagem ocorreu mediante a seleção de itens como recipientes, tábuas, colheres e cabos de escovas de dentes. Em dois recipientes, foram inseridos 50g da fibra, e sequencialmente, adicionou-se 30 mL do adesivo de caseína e 25 mL do adesivo de amido de milho, em cada recipiente. Posteriormente, os materiais foram homogeneizados manualmente até a cola estar totalmente aglomerada entre as fibras e assim como também a massa apresentar consistência uniforme para ser moldada.

As massas prontas foram transferidas para dois pratos com diâmetro de 31,4 cm que serviram como moldes, com um plástico por baixo para facilitar o desmolde. Foram adicionadas duas camadas, em que a primeira foi depositada e pressionada levemente para maior aglutinação entre a cola e as fibras internas, e, posteriormente, depositando a segunda camada sobre a anterior. Feito isso, os moldes foram deixados expostos a temperatura ambiente em um local arejado e ventilado com temperatura ambiente variando entre 25°C e 30°C durante 72 horas.

2.4.2 Fibras peneiradas

Utilizando-se o pó resultante da peneiração da fibra triturada do bagaço de cana-de-açúcar, pesou-se 70g do pó da fibra em uma balança convencional e, adicionou-se 20 mL da cola de amido de milho. O processo da massa foi homogeneizado até apresentar consistência pastosa pronta para ser modelada. O procedimento de modelagem e secagem seguiu as mesmas etapas descritas

anteriormente, porém, com tempo de secagem diminuído para 48 horas. Foram confeccionados tabuas, colheres e cabos para escovas de dente.

2.5 Resina artesanal e epóxi

A resina artesanal foi produzida por meio de uma proporção de 1:1 do álcool etílico 70% associado a cola de silicone comercial. A resina epóxi da marca Redelease obedece a proporção de 100:50 (resina : endurecedor), a cada 100g de resina, usa-se 50g de endurecedor. As resinas foram preparadas manualmente, homogeneizando até apresentar consistência viscosa e uniforme. Com o auxílio de um pincel, a resina epóxi foi aplicada tanto sobre a superfície interna quanto externa gradativamente. Já a resina artesanal, foi inserido pequenas quantidades sobre a superfície do material realizando movimentos giratórios até apresentar uma camada uniforme.

3 Resultados e Discussão

3.1 Biomateriais a base de caseína e amido de milho

Os agentes ligantes, caseína e amido de milho, foram selecionados devido a sua capacidade de atuarem como agente aglutinantes¹⁰ junto as fibras do bagaço da cana-de açúcar para produção de bioplásticos. Ambos são polímeros naturais de baixo custo e acessíveis que fornecem alternativas renováveis e importantes na substituição de polímeros sintéticos, contribuindo para soluções sustentáveis de fácil produção

A cola de caseína, foi obtida por meio da reação entre leite desnatado com o ácido acético (CH_3COOH) presente no vinagre, e apresentou um tempo relativamente longo para sua preparação, variando entre 3 a 4 horas no total. Como descrito na metodologia, todo o processo ocorre em 4 etapas: etapa de coagulação (reação entre o leite desnatado com o ácido acético); a separação da caseína por um processo de filtração; homogeneização da proteína com o bicarbonato de sódio (NaHCO_3) e por fim, a etapa mais lenta (Aglutinação), de 2 horas de repouso para que mistura possa desenvolver suas propriedades adesivas. A cola obtida apresentou uma consistência espessa, com textura lisa e coloração esbranquiçada, demonstrando a aglutinação das partículas proteicas da caseína isolada (Figura 1).

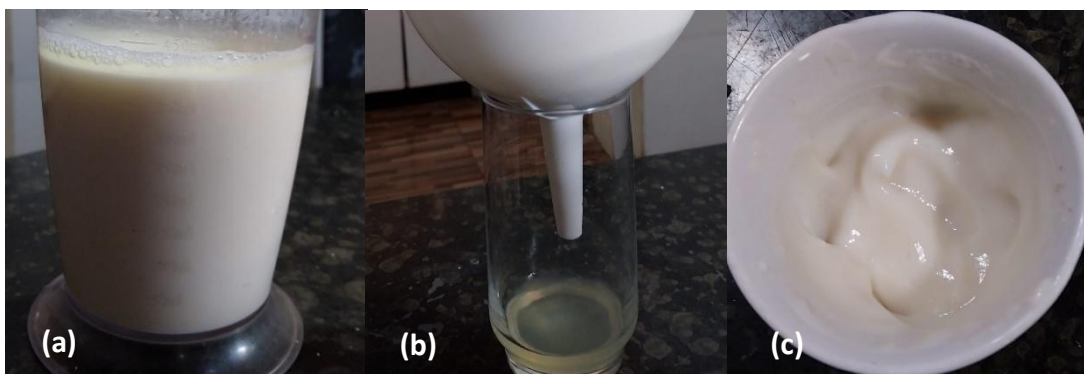


Figura 1 – Preparo da cola de caseína: (a) coagulação, (b) filtração e (c) cola concluída. (Autoria própria, 2025).

Os testes iniciais de aderência, foram feitos em substratos celulósicos (papelão) e cerâmicos (telhas), a cola de caseína demonstrou um período de conglutinação inicial compreendido entre 30 e 40 minutos em condições estáticas de repouso. As propriedades adesivas manifestaram-se satisfatoriamente nesses materiais, evidenciado pelo teste de resistência ao cisalhamento realizado após 90 minutos de cura. A separação dos substratos exigiu aplicação de força moderada, indicando que a eficácia adesiva está diretamente correlacionada com a microestrutura porosa dos materiais. Esta característica morfológica favorece a penetração do adesivo nos interstícios, promovendo fixação mecânica por ancoragem. Contrariamente, quando aplicada sobre superfícies vítreas, o adesivo não exibiu propriedades adesivas, mesmo após período de cura superior a 120 minutos em temperatura ambiente ($25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$). Este fenômeno é atribuído às propriedades físico-químicas do substrato: superfície lisa, baixa energia superficial e baixa porosidade. Tais características inibem a penetração da solução coloidal no material, impedindo a formação de ligações mecânicas ou químicas efetivas.

Além da cola de caseína, também foi preparada e aplicada a cola à base de amido de milho (Figura 2). Sua propriedade adesiva está diretamente associada ao processo de gelatinização. No qual, ao ser aquecida em água, as interações de hidrogênio presentes no interior dos grânulos do amido, rompem-se permitindo a absorção de água, promovendo o inchando e levando a gelatinização. Esse processo resulta em um aumento de viscosidade da suspensão coloidal e característica aglutinante¹⁰



Figura 2 – Cola de amido de milho (Autoria própria, 2025).

A aplicação da cola foi realizada com o auxílio de um pincel em pequenas quantidades e finas camadas sobre a superfície dos materiais em condições de temperatura ambiente. Mediante os testes realizados, observou-se que a cola de amido apresentou um processo de aglutinação iniciando-se em cerca de 25 minutos, indicando liga adesiva eficiente, preferencialmente em materiais porosos.

No papel e na telha, a cola de amido demonstrou propriedades semelhantes a cola de caseína. Contudo, o período de aglutinação foi inferior, registrando propriedades adesivas iniciais em 25 minutos sob condições ambientais de repouso. A formulação apresentou boa estabilidade, com secagem completa em 60 minutos. Para avaliação da resistência mecânica foi aplicado uma força manual de intensidade moderada, evidenciando boa coesão entre os materiais. Esse comportamento é atribuído em decorrência à capacidade que a cola de amido tem de adentrar nas microestruturas porosas presentes dos substratos. Todavia, observou-se falhas em superfícies não porosas, como o vidro, mesmo ultrapassando 60 minutos do processo de secagem, não apresentou liga. Isso denota que, o mecanismo da cola não possui afinidade e capacidade de penetração em materiais não porosos¹⁰.

A tabela 1, representa os principais parâmetros avaliados, permitindo a comparação entre as duas formulações dos adesivos aplicados. Através da análise, é possível identificar os principais pontos positivos, e assim como as limitações das respectivas formulações, contribuindo para apresentações mais específicas e detalhadas.

Tabela 1 – Comparação da cola de caseína e amido

PARAMÊTROS	COLA DE CASEINA	COLA DE AMIDO
Tempo de preparo	3 a 4 horas	8 minutos
Consistência	Espessa e lisa	Cremosa
Coloração	Esbranquiçada	Translúcida
Temperatura de secagem	25 °C – 30°C	25 °C – 30°C
Início de aderência	30 a 40 minutos	25 minutos
Aderência em telha	Alta	Alta
Aderência em papel	Alta	Alta
Aderência em vidro	Baixa	Baixa
Resistência mecânica em telha	Exige força moderada para separar	Exige força moderada para separar
Resistência mecânica em vidro	Não apresenta fixação	Não apresenta fixação
Limitações	Produção demorada e baixa fixação em superfícies lisas	Produção rápida e baixa fixação em superfícies lisas

Fonte: Autoria própria (2025).

3.2 Desempenho comparativo dos bioplásticos

Foram produzidas duas tábuas com dimensões de 17 cm de largura, 23 cm de comprimento e 1 cm de espessura. Sendo que uma delas foi moldada com 120 g de fibra triturada e 60 mL da cola de amido de milho, enquanto para a segunda, foi utilizado 120g do pó da fibra peneirado com 35 mL da cola de amido. As misturas foram homogeneizadas separadamente e então transferidas para uma base de madeira previamente coberta com um plástico. As massas foram expandidas com o auxílio de um rolo articulado e moldados de acordo com as dimensões propostas. Por fim, os moldes foram submetidos a secagem natural assim como as outras peças.

Para a confecção das colheres e cabos das escovas de dente, preparou-se uma massa a partir de 30g da fibra tritura e 15 mL da cola de amido e, a segunda usando 30g do pó peneirado e 10 mL da mesma cola. A terceira e quarta massa, usou-se a cola de caseína, em que foi composta por 30g da fibra triturada associada a 18 mL do adesivo, e 30g do pó com 7 mL do mesmo adesivo.

Para os moldes dos artefatos, foi usado uma colher e uma escova como referência, nos quais foram colocados sobre a placa de isopor, em seguida desenhados e então recortados. Logo depois, foi recortado faixas de papelão e colado com cola de silicone na lateral, formando as paredes do molde. Com as massas prontas, foram aplicadas em pequenas quantidades até preencher toda a estrutura dos moldes. Seguidamente, as peças foram levadas para o processo de secagem das mesmas maneiras as peças anteriores, durante um período de 48 horas.

Os moldes produzidos a partir da utilização da fibra do bagaço da cana-de-açúcar, devidamente tratado como mostra a figura 3 e, associados às colas artesanais de amido de milho e caseína, atuando como agentes aglutinantes, apresentaram diferenças significativas em suas propriedades físicas. Cabe ressaltar que para caracterizar os fenômenos, adotou-se parâmetros exclusivamente qualitativos, baseados na percepção direta do analista, sem recurso a ferramentas de quantificação ou escalas de medição padronizadas. Para isso, definiu-se como parâmetros evidências relacionadas à permeabilidade, textura superficial, integridade estrutural, resistência mecânica e a capacidade de aderência das colas entre as fibras. Essas diferenças expõem diretamente a eficiência associada ao nível de compatibilidade de cada adesivo aplicado para a produção dos moldes confeccionados.



Figura 3 – Tratamento da cana-de-açúcar: (a) retirada do bagaço, (b) secagem e (c) Trituração. (Autoria própria, 2025).

Os objetos produzidos por meio do bagaço da cana-de-açúcar utilizando a cola de amido de milho demonstraram desempenho satisfatórios, em termos de integridade estrutural, resistência mecânica e desempenho físico. Durante o processo de fabricação, foi possível evidenciar que as peças apresentaram boa coesão entre as fibras, resultado no desenvolvimento de uma estrutura rígida e resistente. A cola de amido, além de ser produzida facilmente utilizando materiais de baixo custo e acessíveis, também foi constatado uma alta aderência às fibras do vegetal. Foi possível identificar esse resultado por meio das observações realizadas através do processo de fabricação, no qual, percebeu-se que, à medida que as fibras absorviam o agente colante, a estrutura do material apresentava maior coesão devido a facilidade de incorporação da cola. Esse fator proporcionou uma distribuição uniforme da colagem, contribuindo para a estabilização e resistência material obtido.

Os moldes fabricados empregando a cola de amido demonstraram propriedades eficientes, principalmente referente a rigidez e desempenho físico. Tais características foram avaliadas através de testes manuais, com a aplicação de pressão com as mãos a fim de verificar tanto a resistência à deformação como a flexão dos artefatos. As peças, embora que visualmente apresentassem textura superficial majoritariamente áspera devido à incorporação das fibras granulares, tornaram-se mais uniformes após o processo de lixamento, sem afetar suas propriedades estruturais e preservando a integridade estrutural do material durante as manipulações manuais.

Para a verificação da resistência mecânica, realizou-se testes manuais de compressão, no quais esses materiais foram submetidos à aplicação de força manual. Logo, foi possível notar uma boa resistência mecânica dos materiais, não fragmentando-se facilmente ao ser submetido a pressão relativamente elevada. Além disso, também se aplicou um teste para verificar o nível de absorção de água, onde, foi inserido água por um tempo controlado e observação constante. Observou-se que, apesar dos materiais apresentarem certa absorção de água, característica própria de materiais fibrosos, essa propriedade não levou a rápida desintegração do material, indicando resistência moderada à umidade e assim como evidenciando a sua utilização sem exposição direta e prolongada à água.

A absorção de água dos materiais produzidos através da fibra do bagaço da cana-de-açúcar é adquirida por meio de três mecanismos: Primeiramente, ocorre a formação das ligações de hidrogênio entre as moléculas de água e grupo hidroxilas presentes na superfície das fibras. O segundo mecanismo está relacionado a capacidade das moléculas de água se difundirem na interface matriz-raiz. E o último mecanismo associa-se as estruturas porosas presentes nas fibras favorece a penetração da água pela ação capilar¹¹. A fibra do bagaço é classificada como um material higroscópico e hidrofílico, logo, possui capacidade de absorção de até 235% em peso. Isso significa que, maior quantidade de fibra resulta em maior capacidade de absorção¹²⁻¹³.

Além do mais, observou-se ainda que a espessura das peças se tornou um fator predominantemente essencial para avaliar a sua resistência. Os materiais cujo foram produzidos com espessuras com medição de 0,5mm (figura 4) utilizando as fibras granulares, exibiram desempenho inferior das de maiores espessuras de 10 mm (figura 5), pois, foram mais propicias a rupturas no momento em que se aplicava esforços mecânicos mais elevados. Esse parâmetro era esperado, pois o comportamento se deve ao fato da inserção de menores quantidades de fibras distribuídas para o material limitando assim, a sua capacidade de absorção e resistência.



Figura 4 - Material lixado com espessura de 0,5 mm. (Autoria própria, 2025).



Figura 5 – Recipiente com espessura de 10 mm. (Autoria própria, 2025).

Aqueles artefatos produzidos exclusivamente com o pó da fibra, foram os mais suscetíveis a maiores fragilidades quando eram submetidos a uma força moderada, o que consequentemente ocasionava rupturas com mais facilidade. Isso indica que a presença das fibras granulares evidencia uma maior resistência mecânica, atuando como elementos de reforço para beneficiar a integridade física do material. Além disso, a literatura mostra que o pó do bagaço da cana-de-açúcar apresentar menor absorção de líquidos, ao contrário das fibras granulares. Constatando-se que tanto a espessura quanto a utilização de fibras granulares influenciam diretamente para a obtenção de materiais mais eficientes em parâmetros estrutural, físico e mecânico.

Entretanto, durante o processo de fabricação utilizando a cola de caseína, os resultados finais demonstraram ser insatisfatórios, principalmente na etapa de secagem, onde foi possível observar que as peças como pratos, colheres e cabos de escovas de dentes não desenvolveram boa resistência mecânica, tornando-se frágeis e quebradiços. Embora a cola de caseína tenha exibido bons resultados relacionados a aderência e resistência mecânica aos materiais de testes como telhas e papeis, a sua aplicação atuando como adesivo para unir as fibras do vegetal, demonstraram pouca eficiência.

Ademais, durante os testes de permeabilidade em que alguns artefatos confeccionados foram expostos em contato direto com a água. Foi possível observar uma elevada absorção hídrica, implicando ainda mais na fragilidade das peças, ocorrendo danificações física das peças e consequentemente levando a degradação dos materiais. Dessa forma, reforça-se a presença de limitações acerca da cola de caseína diante à composição química celulósica e fibrosa presente no bagaço, que por sua vez apresenta baixa compatibilidade como adesivo para com a fibra e assim como também alta capacidade de retenção de líquidos. A tabela 2 apresentar as principais comparações dos biomateriais produzidos.

Tabela 2 – Avaliação comparativa dos biomateriais produzidos com a cola de caseína e cola de amido

PARÂMETROS	COLA DE CASEÍNA	COLA DE AMIDO
------------	-----------------	---------------

Aderência	Baixa aderência.	Alta aderência.
Resistencia mecânica	Baixa resistência a compressão, tornando-as frágeis.	Alta resistência em materiais com maiores espessuras usando fibras granulares.
Textura superficial	Textura heterogênea.	Textura áspera.
Absorção de umidade	Elevada	Moderada
Compatibilidade	Fraca interação das proteínas para com as fibras.	Alta interação química entre os componentes.

Fonte: Autoria própria (2025).

3.3 Desempenho das resinas nos moldes

Afim de comparar agentes ligantes a base de agentes naturais, utilizou-se mistura de proporções iguais de cola de silicone com álcool 70%, e a resina epóxi baixa viscosidade, da marca Redelease, aplicada exclusivamente em algumas peças apenas para fins comparativos, denominada de resina artesanal. Dado que, os parâmetros avaliados foram: aderência, permeabilidade, rigidez, resistência mecânica, tempo de secagem, acabamento e custo-benefício. A tabela 3, apresenta todas as medidas e quantidades de resinas utilizada em cada artefato.

Tabela 3 – Quantidade de resina utilizada em cada artefato

MATERIAL	MEDIDAS	RESINA ARTESANAL	RESINA EPÓXI + ENDURECEDOR
Prato	31,4 cm de circunferência, 2,5 altura e 0,5 mm de espessura.	50mL (álcool) + 50 mL (cola de silicone) Total: 100mL.	100 g (resina) + 50 g (endurecedor) Total: 150 g.
Colher	18 cm de comprimento e 0,5 mm de espessura.	10mL (álcool) + 10 mL (cola de silicone) Total: 20mL.	16 g (resina) + 8 g (endurecedor) Total: 24 g.
Cabo de escova	15 cm de comprimento e 0,5 mm de espessura.	10mL (álcool) + 10 mL (cola de silicone) Total: 20mL.	16 g (resina) + 8 g (endurecedor) Total: 24g.
Tábua	17 cm de largura, 23 cm de comprimento e 1 cm de espessura.	Não foi usado resina.	150 g (resina) + 75 g (endurecedor) Total: 225 g.

Fonte: Autoria própria (2025).

Os artefatos nos quais foram aplicadas a resina artesanal (figura 6), demonstraram bons resultados principalmente em aspecto de aderência, rigidez e resistência mecânica. Os utensílios como pratos e recipientes tornaram-se estruturalmente mais resistentes e rígidos quando aplicados a testes mecânicos como compressão e flexão, além de apresentarem um bom custo benefício em decorrência da utilização de materiais acessíveis e de baixo custo. Vale ressaltar que, o processo de secagem dependeu da quantidade de resina aplicada em cada objeto, no qual variou entre 20mL para os cabos de escova/colheres e, 100mL para os pratos, apresentando tempo de secagem completa em torno de 24 horas a 48 horas, respectivamente, em temperatura ambiente.

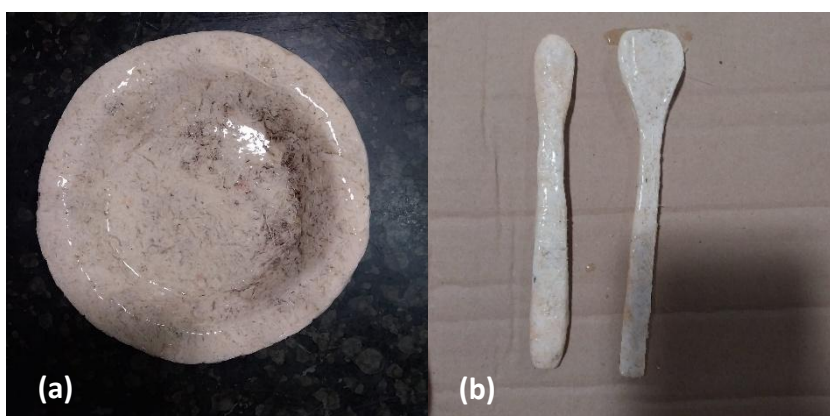


Figura 6 – Aplicação da resina artesanal: (a) Prato e (b) cabo de escova de dente e colher. (Autoria própria, 2025).

Além disso, foi possível observar uma permeabilidade moderada como mostra na (figura 7), por se tratar de uma composição que contém cola de silicone, ao entrar em contato com água as peças conseguiram reter o líquido por aproximadamente cinco minutos sem a apresentar vazamento. Após esse tempo, as fibras presentes no material começam a absorver umidade, característica específica de materiais celulósicos. Contudo, vale destacar que, embora haja absorção de líquidos, a estrutura das peças não se desintegra tão facilmente, mantendo sua estabilidade estrutural e resistência mecânica moderada.



Figura 7 – Teste de umidade. (Autoria própria, 2025).

Após a etapa de secagem, os artefatos desenvolvem uma camada superficial contínua de baixa espessura, caracterizada por transparência brilhante, que preserva integralmente a cromaticidade original do substrato (do agente ligante). Esta configuração morfológica resulta em topografia superficial com rugosidade reduzida, conferindo propriedades estéticas otimizadas e lisura tátil confortável. Tais atributos evidenciam a viabilidade técnica preferencial da resina para aplicações artesanais, particularmente na manufatura de componentes decorativos com restrição à exposição prolongada de umidade. Paralelamente, a incorporação da resina na matriz promoveu uma resistência mecânica à tração, fenômeno atribuível à ação coalescente do silicone polimérico, que induz a formação de pontes covalentes entre fibra e resina, resultando em substancial ganho de integridade estrutural e resistência ao impacto.

A literatura descreve que agentes de acoplamento contendo grupos siloxânicos, como os presentes na matriz polimérica de cola de silicone à base de polidimetilsiloxano (PDMS) responsável por formar a base elástica e resistência do produto. Apresentam grupos bifuncionais capazes de estabelecer interações químicas com grupos hidroxilas presentes nas fibras lignocelulósicas. Essa interação, resulta na formação de ligações siloxânicas, no qual o mecanismo atua na formação de uma rede interfacial estável, promovendo melhoria a adesão entre as fases, e resultando em materiais com maior resistência mecânica e integridade estrutural¹⁴.



Figura 8 – Acabamento superficial da resina de silicone com álcool 70%. (Autoria própria, 2025).

A resina epóxi de baixa viscosidade, foi aplicada apenas para realizar uma análise comparativa, em que apresentou resultados significativos superiores em vários parâmetros. Notou-se melhoria principalmente relacionada a aderência entre as fibras no qual resultou em um material extremamente resistente e dificilmente de ser quebrado. Além disso, apresentou melhor impermeabilidade, fazendo com que ao realizar o teste de umidade, não ocorreu nenhuma absorção ou vazamento no material. Esses resultados significativos ocorrem porquê as resinas epóxi são definidas como pré-polímeros apresentando baixo peso molecular e contendo dois ou mais grupos epóxi por molécula¹⁵. E por esse

motivo, é um dos produtos mais utilizados em revestimentos devido seu elevado desempenho, alta estabilidade química, resistência ao calor e água, além de apresentar excelente adesão e altas propriedades mecânicas¹⁶.



Figura 9 – Aplicação da resina epóxi: (a) colher e (b) tábua. (Autoria própria, 2025).



Figura 10 – Resultado final da aplicação da resina epóxi. (Autoria própria, 2025).

Segundo informações fornecidas no rótulo do produto, o processo de cura total pode ocorrer em até sete dias. No entanto, constatou-se que, 12 horas após a resina ser aplicada na superfície dos materiais já apresentou aspecto relativamente seco e manuseável. Porém, para garantir melhores resultados, os testes só foram efetuados após concluir o processo de cura total em torno de 24 horas ininterruptas.

Embora, inicialmente, a resina epóxi tenha propriedades incolores, observou-se que ao final do processo de cura, houve uma mudança de coloração do material, ficando em um tom levemente amarelado, possivelmente indicando que ocorreu um processo de oxidação resultando na alteração da cor, já que as fibras apresentam coloração esbranquiçadas. Em questões financeiras, a resina epóxi não se mostra viável para produzir uma elevada quantidade de peças, devido a seu elevado valor. Dado que, o valor da resina pode variar dependendo do nível da viscosidade, sendo alta ou baixa, no qual está diretamente relacionado ao nível de espessura e capacidade de adentrar entre as fibras do molde.

Dessa forma, torna-se evidente que a utilização da resina epóxi, embora apresente propriedades eficientes, não contém custos acessíveis e assim como também, não indica ser uma alternativa sustentável devido as substâncias químicas presentes na mesma que podem ser nocivas ao meio ambiente.

A concepção de converter resíduos agrícolas em produtos industriais, através da valorização de recursos naturais, desempenham um papel promissor para a economia circular. Nesse sentido, a utilização de fontes renováveis tem se destacado por ser uma alternativa viável e eficiente para o desenvolvimento de polímeros termofixos parcial ou totalmente bioderivados, indicando boas propriedades termomecânicas e assim reduzindo o uso de bisfenol¹⁷.

A literatura fornece alternativas promissoras para agentes substitutos, destacando o óleo soja atuando em sistema de revestimento completamente orgânico, demonstrando excelentes propriedades relacionadas a dureza, adesão e boa estabilidade química¹⁸. Além disso, bioresinas sintetizada a partir do óleo de mamona silanizado (SCO) e do ricinoleato de metila silanizado (SMR) desenvolvido como biorevestimento hidrofóbico verde e sustentável, sendo utilizado em substratos de papel com potencial de reciclabilidade. Diante desse cenário, torna-se evidente que a utilização de óleos vegetais surge como alternativas significativas para substituir resinas produzida por meio do petróleo devido à sua capacidade de biodegradabilidade intrínseca, menor taxa de toxicidade e caráter renovável¹⁹.



Figura 11 – Comparação entre as diferentes resinas. (Autoria própria, 2025).

A tabela 4 apresenta de forma clara e explícita o comparativo entre as duas resinas utilizadas nos moldes produzidos por meio do bagaço da cana-de-açúcar. Ambas possuem diferentes propriedades analisadas em diferentes parâmetros servindo como consolidação dos dados obtidos. Dessa maneira, é possível denotar tanto os principais pontos fortes quanto as limitações relacionadas a cada material.

Tabela 4 – Comparativo entre a resina epóxi e resina artesanal

PARÂMETROS	RESINA EPÓXI (BAIXA VISCOSIDADE)	RESINA ARTESANAL
Aderência	Elevada, contribuindo para a coesão estrutural.	Moderada, promove união entre as fibras.
Permeabilidade	Alta, não permite absorção e/ou vazamentos.	Baixa, após um tempo curto retém líquido e gera vazamentos.
Rigidez	Moderada.	Elevada.
Resistencia mecânica	Moderada, dependendo da espessura.	Elevada, dificilmente de ser quebrada.
Tempo de cura	24 horas para cura completa.	24 a 48h, dependendo da quantidade de resina.
Custo	Alto valor.	Baixo valor.
Sustentabilidade	Menos sustentável devido a presença de compostos químicos prejudiciais.	Mais sustentável, devido conter materiais com menor impacto.

Fonte: Autoria própria (2025).

4 Conclusões

Constata-se os objetivos foram parcialmente alcançados, uma vez que, foi possível desenvolver bioplásticos a partir da reutilização do bagaço da cana-de-açúcar. No qual a cola de amido exibiu melhor desempenho em relação à cola de caseína, essencialmente associado aos parâmetros de aderência, resistência mecânica e estabilidade física. No entanto as peças produzidas utilizando a cola de caseína, embora tenha desempenhando boas propriedades em relação aos materiais de testes, quando associada as fibras do bagaço da cana-de-açúcar demonstraram tanto fragilidade quando facilidade para absorver umidade. Essa condição, levou ao comprometimento estrutural das peças, evidenciando que a mesma apresenta melhores aplicações artesanatos ou escolares.

Infere-se que, a resina artesanal formada pela homogeneização de proporções iguais do álcool 70% associado a cola de amido, apresentou melhores propriedades em aspectos como a rigidez e resistência mecânica devido a sua capacidade de aderir-se as fibras e, impermeabilização moderada dos materiais. Além disso, essa resina torna-se de fácil acessibilidade, baixo custo e menos prejudicial ao meio ambiente em decorrência dos produtos químicos utilizados. Todavia, a resina epóxi de baixa viscosidade por apresentar melhores propriedades físico-químicas, demonstrou resultados superiores as da resina artesanal, principalmente em parâmetros como elevada resistência mecânica, tempo de

cura, melhor acabamento e em destaque, a impermeabilização completa do material. Porém, vale ressaltar que, o uso da resina foi exclusivamente apenas para dados comparativos, pois o seu elevado custo e por não apresentar características biodegradáveis não condizem com os princípios propostos pelo trabalho.

Em suma, foi possível constatar que é possível realizar o desenvolvimento de diferentes materiais usuais como recipientes, pratos, colheres e cabos de escova de dente através da fibra presente no bagaço da cana-de-açúcar, proporcionando uma alternativa sustentável e reutilizável de matéria-prima renovável. Entretanto, destacando que ainda há limitações presentes, principalmente na resina artesanal, relacionado a sua impermeabilidade, no qual recomenda-se estudos futuros que possam aprimorar essa condição e assim ser possível desenvolver bioplásticos mais acessíveis e menos prejudiciais ao meio ambiente.

A sustentabilidade foi um dos principais alvos desse estudo. Em que a reutilização do bagaço da cana-de-açúcar permite a valorização de produtos da agroindústria e bem como a redução de descartes incorretos. Além disso, a utilização de agentes aglutinantes de baixo custo, resulta em um menor impacto ambiental, alinhando-se ao desenvolvimento de materiais biodegradáveis e redução de impactos ambientais.

5 Agradecimentos

À Universidade Estadual do Piauí (UESPI) pelo fomento ao ensino e pesquisa, possibilitando a formação acadêmica. Ao professor Antonio Leonel de Oliveira pelas orientações e acompanhamento continuo a pesquisa. Aos colegas, Amanda Monteiro Souza e Reidner Moraes da Silva pelo incentivo, companheirismo e apoio ao longo da trajetória acadêmica. E, em especial, aos meus pais, Francisco Moraes Sobrinho e Maria dos Remédios de Oliveira Moraes pelo suporte motivacional e base sólida para a concretização desse projeto acadêmico.

6 Referências Bibliográficas

1. BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R.; Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. *Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia*, **2008**, v. 5, n 3, p.297 – 305.
2. MOUBARIK, A.; GRIMI, N.; BOUSSETTA, N.; Structural and thermal characterization of Moroccan sugar cane bagasse cellulose fibers and their applications as a reinforcing agent in low density polyethylene. *Composites Part B: Engineering* **2013**, v. 52, p. 233-238.

3. ELKAYALY, D.; HAZEM, N.; FAHIM, I. S.; Green and sustainable packaging manufacturing: a case study of sugarcane bagasse-based tableware in Egypt. *Circular Economy and Sustainability*, **2022**, v. 2, n. 3, p. 829-856.
4. ARAÚJO, C.R.; Cinética de decomposição térmica de compósitos poliméricos com fibras de curauá. *Tese de doutorado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
5. OLIVEIRA, B. C.; LIMA, E. G de.; Produção de bioplástico a partir do bagaço de cana-de-açúcar e cinzas de caldeira. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso técnico em Açúcar e Álcool), Escola Técnica Estadual (ETEC), Fernandópolis, 2024.
6. SINDHU, R.; GNANSOUNOU, E.; PARAMESWARAN, B.; PANDEY, A.; Bioconversão de resíduos da cultura da cana-de-açúcar para produtos de valor agregado – Uma visão geral. *Renewable Energy*, **2016** v. 98, p. 203-215.
7. THARANATHAN, R. N.; Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in food science & technology*, **2003**, v. 14, n. 3, p. 71-78.
8. FERREIRA, L. H.; RODRIGUES, A. M. G. D.; HARTWIG, D. R.; DERISSO, R. C.; Qualidade do leite e cola de caseína. *Química Nova na Escola*, **1997**, v. 6, p. 32-33.
9. FABRÍCIO, R. F.; MÄHLMANN, C. M.; Desenvolvimento de adesivo à base de amido de milho e mandioca. *Tecno-lógica*, **2014**, v. 18, n. 1, p. 1-12.
10. WANG, C.; YAO, Y.; ZHANG, YAO, X.; Aging time improves adhesive performance of handmade starch paste for restoration of ancient Chinese books and its mechanism of action. *Heritage Science*, **2024**, v. 12, n. 1, p. 303.
11. KORD, B.; Effects of compatibilizer and nanolayered silicate on physical and mechanical properties of PP/bagasse composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, **2012**, v. 36, n. 4, p. 510-517.
12. JÚSTIZ-SMITH, N. G.; VIRGO, G. J.; BUCHANAN, V. E. Potential of Jamaican banana, coconut coir and bagasse fibres as composite materials. *Materials characterization*, **2008**, v. 59, n. 9, p. 1273-1278.
13. WIRAWAN, R.; SAPUAN, SM.; YUNUS, R.; ABDAN, K.; Density and water absorption of sugarcane bagasse-filled poly (vinyl chloride) composites. *Polymers and Polymer Composites*, v. 20, **2012**, n. 7, p. 659-664.
14. XIE, Y.; HILL, C. A. S.; XIAO, Z.; MILITZ, H.; MAI, C.; Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **2010**, v. 41, n. 7, p. 806-819.

15. FACCINI, M.; BAUTISTA, L.; SOLDI, L.; ESCOBAR, A. M.; ALTAVILLA, M.; CALVET, M.; DOMÈNECH, A.; DOMÍNGUEZ, E.; Environmentally friendly anticorrosive polymeric coatings. *Applied Sciences*, **2021**, v. 11, n. 8, p. 3446.
16. DIÓGENES, O. B. F.; OLIVEIRA, D. R. de.; SILVA, L. R. R.; PERERA, Í. G.; MAZZETO, S. E. ARAUJO, W. S.; LOMONACO, D.; Development of coal tar-free coatings: Acetylated lignin as a bio-additive for anticorrosive and UV-blocking epoxy resins. *Progress in Organic Coatings*, 2021, v. 161, p. 106533.
17. SILVA, L. R. R. da.; Resina epóxi monocomponente sustentável: novo revestimento anticorrosivo de alto desempenho a partir de subproduto agroindustrial. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais), UFC, Fortaleza-CE, **2025**.
18. AMMAR, S. et al. Development of fully organic coating system modified with epoxidized soybean oil with superior corrosion protection performance. *Progress in Organic Coatings*, **2020**, v. 140, n. December 2019, p. 105523.
19. PARVATHY, P. A.; SAHOO, S. K.; Hydrophobic, moisture resistant and biorenewable paper coating derived from castor oil based epoxy methyl ricinoleate with repulpable potential. *Progress in Organic Coatings*, 2021, v. 158, p. 106347.