

ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMATERIAL A PARTIR DAS PALMAS FORRAGEIRAS NO AGRESTE POTIGUAR

Autor(a)¹ ROCHA, Sara
Autor(a)² HERPICH, Heiderose

RESUMO

A busca por alternativas sustentáveis ao couro animal tem estimulado pesquisas que integrem inovação, viabilidade técnica e menor impacto ambiental. A partir disso, este estudo investiga o potencial das palmas forrageiras cultivadas no agreste potiguar como matéria-prima para a produção de um biomaterial com características semelhantes ao couro. A pesquisa adota abordagem experimental exploratória, concentrando na extração, preparação e análise das fibras da palma associadas a diferentes polímeros, buscando compreender sua compatibilidade e comportamento estrutural. O processo contempla a coleta dos cladódios, trituração e secagem das fibras, além da produção de compósitos para avaliação de estabilidade, coesão e qualidade. O estudo contribui para o desenvolvimento de materiais alternativos no campo da moda e do setor têxtil, ampliando o conhecimento sobre o aproveitamento de recursos regionais em sistemas produtivos sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVES: Agreste potiguar. Palmas forrageiras. Biomaterial. Sustentabilidade. Material têxtil.

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais gerados pela indústria de beneficiamento do couro animal têm ocasionado preocupações e motivado a busca por alternativas, principalmente no uso de peças de vestuário e acessórios (EMBRAPA, 2024; MEIRA et al., 2021; TEIXEIRA, 2019). Tendo em vista esse cenário, as palmas forrageiras, uma espécie de cacto cultivado em regiões semiáridas, surgem como uma matéria-prima com grande potencial para produção de biomaterial. No entanto, a viabilidade técnica e econômica desse processo exige investigação, levantando a seguinte questão: é possível transformar as palmas forrageiras em um biomaterial de qualidade?

O objetivo geral desse estudo, é investigar a viabilidade técnica da produção do biomaterial a partir das palmas forrageiras, considerando sua aplicação nos setores de moda e têxtil. De forma específica, os objetivos serão: realizar um estudo das propriedades químicas das palmas forrageiras para avaliar sua adequação ao processo de transformação em biomaterial, desenvolver e testar metodologias de extração e tratamento das fibras da palma para a produção de um material alternativo ao couro.

A relevância dessa pesquisa está principalmente na possibilidade de oferecer uma alternativa sustentável ao couro tradicional, reduzindo os impactos ambientais e agregando valor a matéria-prima local, contribuindo para o desenvolvimento econômico da região (EMBRAPA, 2024). Ademais, a inovação proposta atende a demanda do setor têxtil e de moda, buscando soluções mais ecológicas e éticas, em diálogo com o vínculo da autora com o agreste potiguar e com a palma forrageira como recurso local.

Para alcançar os objetivos propostos, a metodologia utilizada nessa pesquisa, tem fins experimental e exploratório, com abordagem qualitativa. O estudo envolve a coleta dos cladódios após a visita de campo no agreste potiguar, em áreas onde o cultivo é mais comum, seguida de tratamento para extração das fibras e aplicação de compósitos biodegradáveis. Posteriormente, a execução dos testes de produção do biomaterial.

2 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo, serão abordados os aspectos técnicos relacionados à matéria-prima principal, a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*), e sua aplicação como base para o desenvolvimento de um biomaterial. Além disso, será discutido o processo de produção do couro animal, seus impactos ambientais e o panorama do mercado têxtil e de moda, contextualizando a relevância prática deste estudo.

2.1 CARACTERÍSTICAS E POTENCIAL DAS PALMAS FORRAGEIRAS COMO MATÉRIA-PRIMA SUSTENTÁVEL

As palmas forrageiras (Figura 1), especialmente do gênero *Opuntia ficus-indica*, são cultivadas e adaptadas às condições climáticas do semiárido brasileiro, com destaque para o agreste potiguar, região que apresenta longos períodos de estiagem e solos com baixa fertilidade (ARAÚJO *et al.*, 2019). Além do mais, possuem alta eficiência no uso da água e capacidade de produzir biomassa significativa mesmo em condições adversas, caracterizando-se como uma matéria-prima sustentável e estratégica para o desenvolvimento local.

Figura 1 – Palmas forrageiras.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Quando observada sob a ótica da ciência, a palma apresenta uma estrutura complexa e altamente funcional. Seus cladódios, estruturas achatadas que atuam como caule, sendo responsáveis pela fotossíntese e pelo armazenamento de água, são compostos por fibras formadas principalmente por celulose, hemicelulose, pectinas e lignina (CASTELLANO *et al.*, 2021). Cada um desses componentes exerce um papel estrutural essencial: a celulose confere rigidez e estabilidade, a hemicelulose e as pectinas atuam como ligantes naturais, responsáveis pela coesão e flexibilidade; e a lignina garante resistência à degradação e à ação de microrganismos. Essa estrutura natural, além de conferir força mecânica, cria uma base ideal para o desenvolvimento de materiais sustentáveis que tendem a necessitar de resistência e maleabilidade.

Castellano *et al.* (2021) destacam que o desempenho mecânico das fibras está diretamente relacionado à proporção de celulose presente e à integridade das ligações intermoleculares. Já a flexibilidade e a coesão dependem da quantidade de hemicelulose e pectinas, responsáveis por reter umidade e proporcionar elasticidade. A união dessas propriedades é o que possibilita alcançar

um equilíbrio semelhante ao do couro animal, tornando o material mais firme, maleável resistente, mas com uma boa textura.

O tratamento químico adequado das fibras, especialmente o tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH) e o branqueamento com clorito de sódio (NaClO₂), é fundamental para eliminar impurezas e expor as partes mais ricas em celulose. O tratamento alcalino remove compostos que recobrem a superfície do cladódio, permitindo maior exposição das fibras. Já o branqueamento, nesse contexto, corresponde a um processo de limpeza que elimina impurezas residuais, como compostos orgânicos e substâncias que podem interferir na aderência aos polímeros. Esse procedimento não está relacionado ao desbotamento ou mudança de coloração, mas sim à purificação da fibra. Esse processo aumenta a porosidade e a capacidade de adesão das fibras, melhorando o desempenho do material final. Ou seja, torna as fibras mais puras e compatíveis com processos industriais, sem perder sua origem vegetal. É nesse ponto que o desenvolvimento do biomaterial de palma se conecta ao campo da moda e do design têxtil.

Além de suas propriedades químicas e físicas, a palma forrageira possui vantagens produtivas. Seu cultivo requer pouca água, dispensa agrotóxicos e se adapta bem a sistemas de agricultura familiar, contribuindo para a economia local. No agreste potiguar, seu aproveitamento como biomaterial sustentável pode significar não apenas inovação, mas também se apresenta como um território produtivo de tecnologia natural.

2.1.1 O LÁTEX E AS FIBRAS DAS PALMAS

O látex natural é obtido da seringueira (*Hevea brasiliensis*). A extração ocorre pelo processo de sangria, em que incisões na casca permitem o escoamento do látex fresco (ANDRADE et al., 2022). Após a coleta, o látex passa por etapas de beneficiamento que incluem filtragem e estabilização, podendo seguir para processos de coagulação ou vulcanização, conforme a sua finalidade. A pré-vulcanização aumenta a resistência e a estabilidade térmica da borracha, como discutido por Andrade et al., 2022; Bokobza, 2019.

O látex pré-vulcanizado pode ser associado às fibras vegetais, permitindo que o compósito seja mais resistente e flexível. Essa combinação entre látex natural e fibras de palma reforça o potencial do biomaterial como alternativa sustentável ao couro tradicional, mantendo desempenho funcional alinhado às demandas da moda e do setor têxtil.

Essa interação entre os materiais depende diretamente da estrutura das fibras previamente tratadas e da capacidade do látex de se envolver a esse material. É por isso que, o uso do látex natural pré-vulcanizado como matriz polimérica tem papel crucial, pois proporciona elasticidade, resistência e um toque suave ao material, sendo polímero compreendido como uma macromolécula formada por moléculas repetidas, denominadas monômeros, capazes de criar uma matriz que envolve as fibras vegetais e contribui para coesão e estabilidade do compósito. Por ser biodegradável e de origem renovável, o látex estabelece boa compatibilidade com fibras vegetais, formando compósitos mais flexíveis, característica apontada por estudos na área da borracha natural e suas aplicações em materiais reforçados (ANDRADE et al., 2022; BOKOBZA, 2019).

O uso específico do látex pré-vulcanizado associado as fibras das palmas constitui um experimento original desse estudo.

2.2 COURO ANIMAL E COURO VEGETAL

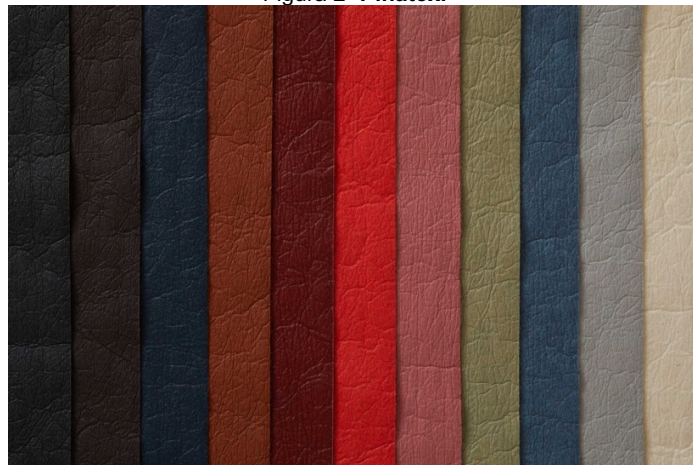
O couro animal obtido a partir da pele de animais, passa por processos de curtimento que envolvem substâncias químicas tóxicas, especialmente o cromo trivalente (Cr³⁺). Segundo Takayama, Fonseca e Prates (2017), o setor de curtumes consome até 17 mil litros de água por tonelada de couro e libera efluentes contaminados por metais pesados e compostos orgânicos. Esse modelo industrial, embora muito bem consolidado no mercado, representa um grande desafio

ambiental: a poluição dos solos, rios e lençóis freáticos, além de expor trabalhadores a condições insalubres. A produção do couro está diretamente associada à pecuária, uma das principais responsáveis pelo desmatamento e pela emissão de gases de efeito estufa. Assim, discutir novas matérias-primas é uma escolha crítica diante de um sistema produtivo que já não se sustenta ambientalmente.

O biomaterial, por outro lado, propõe uma lógica diferente. Produzido a partir de recursos naturais e renováveis, ele elimina o uso de metais pesados e reduz drasticamente o consumo de água. O couro feito de palma forrageira, por exemplo, é biodegradável e pode substituir o couro animal em diversas aplicações, partindo de acessórios de moda a materiais decorativos, por exemplo. Além de reduzir impactos, esse tipo de material responde a uma mudança cultural onde consumidores buscam produtos que expressem valores éticos, ecológicos e de inovação.

Dados da Associação Brasileira das Indústrias de Calçados (ABICALÇADOS, 2023) indicam que o Brasil produz cerca de 900 milhões de pares de calçados por ano, sendo mais de 80% feitos com couro ou materiais sintéticos derivados do petróleo. A introdução de couros vegetais nesse setor não é apenas uma tendência, mas uma necessidade estratégica para alinhar a indústria nacional aos princípios da economia circular e da sustentabilidade global. Entre alternativas sustentáveis já estudadas, cabe destacar o Piñatex (Figura 2), material desenvolvido a partir de fibras de folhas de abacaxi (HIJOSA, 2016, citado por Design life-cycle, 2023). Esse material é produzido a partir da extração mecânica das fibras que passam por um processo de feltragem e acabamento superficial para resultar em um biomaterial resistente, flexível e de baixo impacto ambiental.

Figura 2- Piñatex.



Fonte: Ananas Anam, 2017

Outra alternativa relevante a ser citada é o Malai (Figura 3), biomaterial produzido na Índia a partir de celulose bacteriana cultivada em resíduos da água de coco. O processo utiliza bactérias do gênero *Acetobacter* para fermentar esses resíduos e gerar uma película celulósica que, após secagem e acabamento, apresenta textura semelhante ao couro e boa resistência mecânica (MALAI BIOMATERIALS, 2020). Essas iniciativas mostram que materiais vegetais e biotecnológicos podem alcançar reconhecimento internacional e aceitação comercial, reforçando a viabilidade de novos materiais sustentáveis.

Apesar dos avanços, ainda existem desafios técnicos a serem superados, especialmente no que diz respeito ao processo de produção e resistência mecânica. Aspectos como coloração, textura e durabilidade precisam ser constantemente otimizados para que o biomaterial produzido a partir das palmas forrageiras, se consolide como uma alternativa realmente competitiva no mercado.

Figura 3 – Amostra do biomaterial.



Fonte: Malai design e materiais, 2020

2.2.1 INOVAÇÕES E PESQUISAS SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO A PALMA

A produção de biomateriais derivados da palma (*Opuntia* spp.) já vem sendo realizada no México, país em que o cultivo dessas cactáceas é algo tradicional e fundamental não somente para alimentação animal, como também para alimentação humana, sendo uma fonte de vitaminas, fibras e minerais. Os estudos já desenvolvidos demonstraram a viabilidade de transformar as fibras e mucilagens da palma em substratos poliméricos com propriedades comparáveis às do couro animal (CASTELLANO *et al.*, 2021).

Entre as iniciativas mais expressivas nesse campo cabe destacar a empresa mexicana Desserto, fundada em 2019, já sendo considerada referência mundial na produção de biomaterial de alta qualidade. A empresa desenvolveu uma técnica inovadora para extrair fibras da palma sem irrigação artificial e sem uso de pesticidas, cultivando-as em fazendas orgânicas. O resultado é um material com textura, flexibilidade e aparência muito próximas ao couro, mas completamente livre de crueldade e de resíduos tóxicos. Hoje, a Desserto fornece biomaterial para marcas internacionais consolidando-se como uma empresa inovadora (LÓPEZ VERLADE; CÁZAREZ, 2019, citado por KAESA, 2022)

A trajetória da Desserto inspira projetos no Brasil, especialmente em regiões semiáridas que compartilham condições climáticas semelhantes às do México. Um exemplo relevante é o trabalho realizado por estudantes da rede estadual da Bahia, que desenvolveram um protótipo experimental de couro vegetal a partir da *Opuntia ficus-indica*. O estudo comprovou a viabilidade do material e seu potencial ecológico, mas também revelou limitações em aspectos como resistência mecânica e padronização dos processos, lacunas que apontam a necessidade de mais estudos aplicados e aprimoramento técnico.

É nesse contexto que o presente trabalho busca aprofundar o conhecimento sobre a palma forrageira e propor melhorias metodológicas capazes de transformar um experimento promissor em um material funcional, competitivo e alinhado às exigências do mercado. Mais do que substituir o couro animal, trata-se de utilizar o que é nativo do semiárido como fonte de inovação, autonomia e sustentabilidade.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada nessa pesquisa é de caráter experimental exploratório com abordagem qualitativa, analisando as propriedades da palma e desenvolvendo metodologia de extração e tratamento das fibras. O processo envolveu, primeiramente, a coleta dos cladódios no agreste potiguar, região semiárida, seguida pelo tratamento e extração das fibras. Posteriormente, foram realizados testes de formação do compósito em laboratório e análises qualitativas do aspecto do produto.

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os principais materiais utilizados para os experimentos realizados nesse estudo foram:

- **Folhas da palma forrageira:** matéria-prima central do estudo, utilizada nos diferentes testes de trituração, secagem e produção dos compósitos;
- **Látex pré-vulcanizado:** polímero utilizado como matriz flexível, testado pela sua capacidade de promover coesão e elasticidade ao material vegetal;
- **PVA (Cola branca):** avaliado como alternativa de matriz polimérica para comparação entre desempenhos;
- **Estufa com circulação de ar:** equipamento fundamental para todas as etapas de secagem, garantindo controle térmico e remoção de umidade;
- **Triturador:** utilizado para triturar os cladódios e reduzir a matéria-prima a fragmentos adequados para os testes;
- **Peneiras:** permitindo separar alguns grumos antes de ir para misturas;
- **Recipientes e formas:** usados para mistura, acomodação e secagem dos compósitos durante os experimentos;
- **Balança:** Utilizada para apresentar com exatidão as proporções utilizadas nos compósitos, especialmente nos testes comparativos entre PVA e látex.

3.2 MÉTODOS

Para o desenvolvimento do processo do biomaterial foram realizados vários ensaios os quais serão descritos a seguir.

3.2.1 COLETA, TRANSPORTE E PRÉ-TRATAMENTO DOS CLADÓDIOS

Os cladódios de palmas forrageiras foram coletados em áreas cultivadas no agreste potiguar (Figura 4). Após a coleta, o material foi embalado com papel alumínio e transportado para o laboratório garantindo a preservação da qualidade da matéria-prima durante o deslocamento (Figura 5).

Figura 4 – Plantação de palmas.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Figura 5 – Folhas embaladas para transporte.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Eles foram cortados e triturados (Figura 6), separando-se as fibras para posterior processamento, preparando o material para a etapa de secagem, além de facilitar a homogeneização na mistura com os polímeros.

Figura 6 – Cladódios preparados para a elaboração do compósito.

(a) Cladódios cortados.



(b) Cladódios triturados.

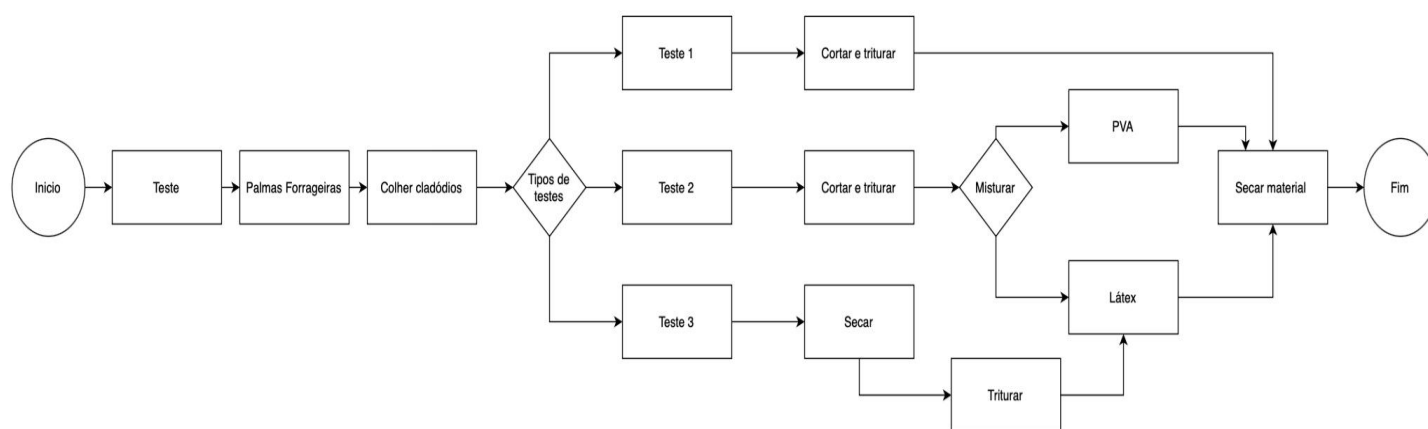


Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

3.2.2 NO LABORATÓRIO

Os testes foram organizados de forma sequencial (Figura 7), partindo da observação do comportamento da fibra isolada (TESTE 1), passando pela combinação com diferentes polímeros (TESTES 2) e finalizando com a inversão da ordem dos processos de secagem e mistura (TESTES 3). A seguir, cada teste é apresentado com sua metodologia específica e suas características observadas.

Figura 7 – Fluxograma metodológico



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

TESTE 1:

O primeiro experimento teve como objetivo avaliar o comportamento natural das fibras de palma após trituração e secagem, sem adição de polímeros. Após os cladódios serem cortados e triturados, o material foi diretamente acondicionado em uma forma e levado para a estufa a 60 °C durante 4 horas.

TESTE 2:

O segundo teste repetiu todas as etapas iniciais do teste 1, como o corte, trituração e preparação da fibra, porém foram adicionados polímeros formando compósitos antes da secagem. Foram realizados dois testes paralelos:

- 50 g fibras + 50 mL de PVA,
- 50 g fibras + 50 mL látex natural pré-vulcanizado.

As misturas foram levadas para a estufa à 60 °C, permanecendo em secagem contínua por 72 horas.

TESTE 3:

O terceiro experimento reformulou a ordem das etapas. Em vez de triturar as palmas ainda frescas, os cladódios foram primeiro submetidos à secagem integral em estufa a 60 °C por aproximadamente 7 dias. Após esse período, a palma desidratada foi triturada até se transformar em um pó fino e homogêneo. Na sequência, esse pó foi misturado ao látex. Depois, o compósito foi seco em estufa a 60 °C, por 72 horas.

3.2.3 ANÁLISE QUALITATIVA

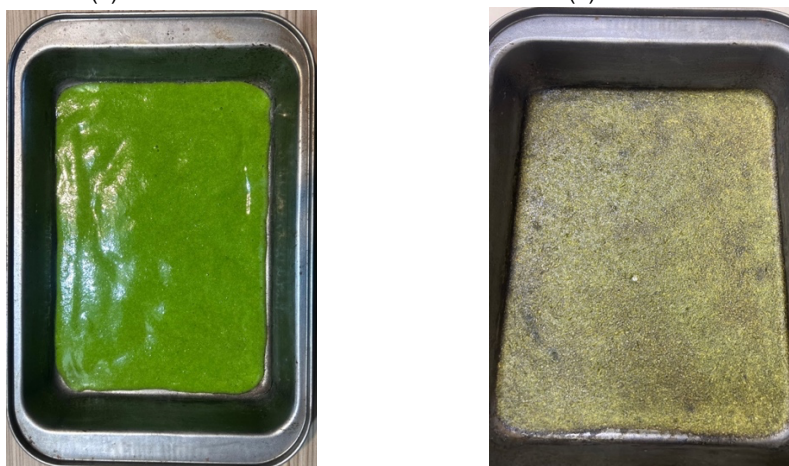
As amostras foram avaliadas qualitativamente considerando as características: flexibilidade, elasticidade, coesão e toque. Para isso, as amostras foram apresentadas e foram registradas as percepções dos avaliadores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos ao longo dos três testes experimentais evidenciaram a importância da ordem das etapas do processo, da retirada da umidade das fibras e da escolha da matriz polimérica na formação de um compósito funcional.

No primeiro teste, o processo possibilitou a remoção da umidade, porém o resultado não foi satisfatório do ponto de vista técnico. As fibras retiveram parte dos líquidos naturais da planta nas etapas iniciais e, ao final da secagem, tornaram-se completamente rígidas e sem qualquer elasticidade. Além disso, aderiram à superfície da forma, dificultando a remoção (Figura 8). Esse primeiro teste demonstrou que as fibras da palma, isoladamente, não são suficientes para formar um material alternativo ao couro, exigindo a adição de polímeros que funcionem como matriz estrutural.

Figura 8 – **Processo sem adição de polímero.**
(a) Fibra triturada. (b) Biomaterial



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O segundo teste apresentou avanços, porém não alcançou resultados satisfatórios. No caso do PVA, a mistura apresentou inicialmente uma consistência homogênea e parecia promissora, com boa maleabilidade antes da secagem. Entretanto, após o período na estufa, o material resultante mostrou-se pegajoso, instável e sem resistência estrutural. Depois de esfriar, o compósito perdeu forma, ficou muito rígido e apresentou aspecto semelhante a uma placa quebradiça, impossibilitando seu uso como biomaterial (Figura 9).

Já a mistura com látex pré-vulcanizado, demonstrou comportamento superior desde as primeiras horas de secagem. Apesar disso, o resultado ainda foi insatisfatório: o material não chegou a secar completamente, reteve umidade interna e apresentou desenvolvimento de mofo. O compósito adquiriu elasticidade, mas mostrou que a elevada umidade natural da palma fresca interfere significativamente no processo de polimerização e cura do látex (Figura 9).

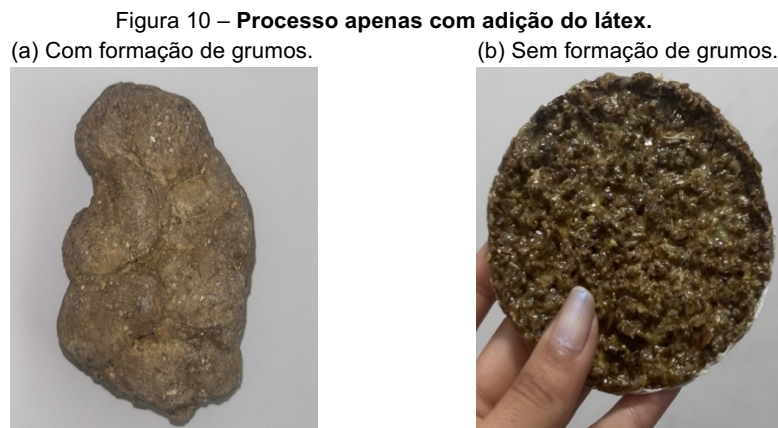
Figura 9 – **Processo com adição de polímeros.**
(a) Adição do PVA. (b) Adição do látex.



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

O terceiro teste foi o único que obteve um compósito com melhores características. A secagem completa dos cladódios por uma semana antes da trituração permitiu a remoção total da

umidade, favorecendo a aderência do látex pré-vulcanizado às partículas vegetais. A ordem de mistura também se mostrou determinante. Ao adicionar o látex primeiro, o pó de fibra se incorporou de forma homogênea, sem formação de grumos, garantindo melhor consistência e estabilidade. Quando o processo foi invertido, apresentou textura irregular, formação de grumos e falhas de homogeneização (Figura 10).



Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2025).

Através da análise qualitativa, foi identificado que o material resultante apresentou elasticidade, resistência e uniformidade visual, comprovando que a secagem prévia e completa dos cladódios, é indispensável para garantir a cura do látex e a formação de um compósito mais eficiente, demonstrando potencial de aplicação em escalas maiores, mas com ajustes metodológicos futuros. De modo geral, os resultados apontam que a palma forrageira possui potencial para produção de biomateriais, desde que seja submetida a um controle rigoroso de umidade e sequência de mistura, sobretudo quando associada ao látex pré-vulcanizado.

5 CONCLUSÃO

Os três testes realizados evidenciaram que o desempenho das fibras de palma forrageira está diretamente relacionado ao controle de umidade e à compatibilidade com o polímero utilizado. Os resultados mostraram que o material produzido com fibras ainda frescas, obtidas diretamente após a trituração, não apresentou estabilidade para formar um material funcional. Já as fibras completamente desidratadas antes da trituração exibiram um bom desempenho, favorecendo melhor interação com o látex e maior estabilidade estrutural.

Entre os polímeros testados, o látex pré-vulcanizado apresentou a melhor compatibilidade, resultando em um compósito mais homogêneo e com propriedades superiores ao PVA. Assim, conclui-se que a palma forrageira possui potencial para o desenvolvimento de um biomaterial alternativo ao couro, desde que as fibras passem por secagem completa e sejam combinadas a um polímero adequado.

Como sugestão para pesquisas futuras, é recomendado a realização de testes de desempenho do biomaterial, bem como a investigação de métodos de controle do desenvolvimento de mofo, visando ampliar sua durabilidade e possibilidades de aplicação.

6 REFERÊNCIAS

ABICALÇADOS. *Relatórios e publicações setoriais da indústria calçadista brasileira*. 2023. Disponível em: <https://www.abicalcados.com.br/publicacoes>. Acesso em: 03 nov. 2025.

ANDRADE, Karina Luzia; RAMLOW, Heloisa; FLORIANO, Juliana Ferreira; ACOSTA, Emanuelle D.; FAITA, Fabrício L.; MACHADO, Ricardo A. F. Latex and natural rubber: recent advances for

biomedical applications. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 32, n. 2, e2022015, 2022. DOI: 10.1590/0104-1428.20210114. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/0104-1428.20210114>. Acesso em: 08 out. 2025.

ARAÚJO, Jucilene S.; PEREIRA, Daniel D.; LIRA, Elder C.; FÉLIX, Evaldo S. *Palma forrageira: plantio e manejo*. 2019. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/handle/123456789/1725>. Acesso em: 05 jun. 2025.

BOKOBZA, Liliane. Natural rubber nanocomposites: a review. *Nanomaterials*, v. 9, n. 1, p. 12, 2019. DOI: 10.3390/nano9010012. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-4991/9/1/12>. Acesso em: 08 out. 2025.

CASTELLANO, J.; MARRERO, M. D.; ORTEGA, Z.; ROMERO, F.; BENITEZ, A. N.; VENTURA, M. R. Opuntia spp. fibre characterisation to obtain sustainable materials in the composites field. *Polymers*, v. 13, n. 13, art. 2085, 2021. DOI: 10.3390/polym13132085. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym13132085>. Acesso em: 08 out. 2025.

DESIGN LIFE-CYCLE. *Piñatex — a sustainable leather alternative made from pineapple leaf fibre*. 2023. Disponível em: <https://www.designlife-cycle.com/pinatex>. Acesso em: 18 nov. 2025.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Reuso da água no curtimento de couro reduz custos e impacto ambiental*. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1747660/reuso-da-agua-no-curtimento-de-couro-reduz-custos-e-impacto-ambiental>. Acesso em: 13 set. 2025.

KAESA. *Plant-Based Spotlight: Desserto Cactus Leather*. 2022. Disponível em: <https://kaesa.co/blogs/news/plant-based-spotlight-desserto-cactus-leather>. Acesso em: 18 nov. 2025.

MALAI BIOMATERIALS DESIGN PVT. LTD. *About Malai – Coconut water-based biocomposites*. Kerala, 2020. Disponível em: <https://malai.eco>. Acesso em: 18 nov. 2025.

MEIRA, A. C. S.; ALMEIDA, R. S.; BARBOSA, R. B. G.; SILVA, D. R. S.; LIMA, K. M. Á.; MOURA, L. B. Impactos socioambientais gerados no curtimento do couro no Semiárido Paraibano. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 14, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.21113. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21113>. Acesso em: 13 set. 2025.

TAKAYAMA, Letícia; FONSECA, Amanda Miyuki; PRATES, Nathália H. M. Impactos ambientais na cadeia produtiva do couro bovino: novos materiais de substituição do couro. *Anais do ENSUS – V Encontro de Sustentabilidade em Projeto*, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/240748>. Acesso em: 05 jun. 2025.

TEIXEIRA, T. S. *Impactos ambientais das indústrias de curtumes e inovações sustentáveis para a substituição do couro*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Produção Têxtil) — Centro Paula Souza, Americana-SP, 2019. Disponível em: repositório institucional do Centro Paula Souza. Acesso em: 13 set. 2025. Documento atualmente indisponível para acesso público.

