

Resistência química de misturas e biocompósitos a base de polietileno verde e mesocarpo de babaçu para aplicação na construção civil

Chemical resistance of mixtures and biocomposites based on green polyethylene and babaçu mesocarp for application in civil construction

Annamaria Faria de Carvalho Loureiro 

Jefferson Brenno Cardoso Rezende 

Tatianny Soares Alves 

Renata Barbosa 

Resumo

O estudo desenvolveu compósitos de polietileno verde de alta densidade (PEADV), mesocarpo de babaçu (MB) (1,5% e 3,0%), com e sem polietileno enxertado com anidrido maleico (PEgMA) (3,0%), com o objetivo de analisar sua aplicação como material na construção civil. Os compósitos foram produzidos em extrusora monorotacional e moldados por injeção. A morfologia dos compósitos, a resistência à tração, química e ao impacto e a análise de variância foram avaliadas. Os biocompósitos apresentaram bom acabamento, superfície homogênea e alteração da cor em virtude da adição de MB. Os resultados indicaram existência de aglomerados do MB e uma melhor distribuição da carga na matriz com a incorporação do PEgMA. Em relação às propriedades mecânicas, os compósitos apresentaram menor deformação, maior tensão de escoamento e módulo de elasticidade. A ductilidade, tensão de escoamento e módulo de elasticidade foram melhorados após exposição em meios ácido e básico, sugerindo um possível processo de cristalização. Com base nos resultados, o MB apresenta potencial uso para desenvolvimento de compósitos.

Palavras-chave: Reforço vegetal. Compatibilizante. Degradação química. Propriedades mecânicas.

Abstract

The study developed composites of green high-density polyethylene (HDPE), babassu mesocarp (MB) (1.5% and 3.0%), with and without polyethylene grafted with maleic anhydride (PEgMA) (3.0%), with the aim of analyzing its application as a material in civil construction. The composites were produced in a single-screw extruder and molded by injection. The morphology of the composites, tensile, chemical and impact resistance and analysis of variance were evaluated. The composites presented a good finish, homogeneous surface and color change due to the addition of MB. The results indicated the existence of MB agglomerates and a better distribution of charge in the matrix with the incorporation of PEgMA. Regarding mechanical properties, the biocomposites showed lower deformation, higher yield stress and elastic modulus. The ductility, yield stress and elastic modulus were improved after exposure to acidic and basic media, suggesting a possible crystallization process. Based on the results, MB has potential use for developing composites.

Keywords: Vegetable reinforcement. Compatibilizer. Chemical degradation. Mechanical properties.

¹Annamaria Faria de Carvalho Loureiro

¹Universidade Federal do Piauí
Teresina - PI - Brasil

²Jefferson Brenno Cardoso Rezende

²Universidade Federal do Piauí
Teresina - PI - Brasil

³Tatianny Soares Alves

³Universidade Federal do Piauí
Teresina - PI - Brasil

⁴Renata Barbosa

⁴Universidade Federal do Piauí
Teresina - PI - Brasil

Recebido em 30/01/24

Aceito em 26/06/24

Introdução

Os materiais poliméricos são essenciais em muitos setores industriais e em utilidades cotidianas devido à relevantes propriedades que possui, e na possibilidade de fabricação de peças/produtos com significativo custo-benefício (Wang *et al.*, 2018). Em conjunto com os metais e as cerâmicas, simbolizam as matérias-primas fundamentais para os distintos setores da economia, dentre eles, o da construção civil (Halliwell, 2002).

A indústria da construção civil é o segundo maior comprador de termoplásticos no planeta, sendo ultrapassada somente pelo setor de embalagens (Geyer; Jambeck; Law, 2017). Contudo, para algumas finalidades em obras, as peças plásticas apresentam alguns inconvenientes, como altas inflamabilidade e deformabilidade, além de envelhecimento por exposições a condições climáticas e químicas incompatíveis (Flaga, 2000). O verdadeiro conflito mundial se norteia em como ajustar a sustentabilidade ambiental e a economia para avançar tecnologicamente. Uma das soluções para esse entrave é trocar os componentes sintéticos comuns por materiais compósitos de base natural (Lopes *et al.*, 2021).

O crescente aumento na geração de resíduos sólidos provenientes de projetos de construção e demolição surge como uma séria preocupação para a gestão de resíduos nas regiões urbanas (Sharma; Shrivastava; Lohar, 2023). O desenvolvimento sustentável de resíduos representa uma possibilidade de reduzir algumas das dificuldades associadas ao seu descarte, diminuindo a utilização de recursos naturais, e em alguns momentos, culminando na fabricação de produtos aliados do meio ambiente. Geralmente, os compósitos com matriz polimérica, são agrupamentos de várias categorias de polímeros orgânicos misturados com cargas vegetais, para melhorar as propriedades dos novos materiais formados (Taurino; Bondioli; Messori, 2023).

Desse modo, para unir as qualidades e minimizar as desvantagens dos polímeros, utiliza-se os reforços com fibras ou cargas vegetais, combinando o polímero com outros materiais para a obtenção de níveis superiores de atributos não antes encontrados no componente puro (Kasapoğlu, 2008). Os compósitos são materiais formados pela junção de dois ou mais materiais com propriedades físicas e químicas distintas, unidos por diferentes interfaces. O compósito é comumente dividido em uma fase de matriz e uma fase de reforço (Mohanty; Pin; Misra, 2018).

Os compósitos verdes se tornaram uma opção vantajosa em relação aos materiais compósitos sintéticos, pois possuem vantagens como: grande disponibilidade de matéria-prima, leveza, boa relação custo-benefício, reciclabilidade e processamento acessível (Beigpour; Shokrokaahi; Khalili, 2021). Em relação aos riscos ecológicos, gradativamente os polímeros derivados do petróleo estão sendo trocados por polímeros com de origem vegetal. Esse contexto já é observado no que se refere ao polietileno de alta densidade (PEAD) comumente empregado em diversas áreas como um constituinte bastante promissor (Mazur *et al.*, 2020). Uma alternativa é o polietileno verde de alta densidade (PEADV), gerado a partir do monômero de etileno encontrado através da desidratação do etanol presente na cana-de-açúcar. A sua constituição, além de ser de origem renovável, é similar ao polietileno não renovável, exibindo mesmo comportamento e características (Boronat *et al.*, 2015).

A descarte inadequado de plásticos de origem sintética destrói a vida selvagem, a cadeia alimentar, o lençol freático e a qualidade do ar. A vida dos seres marinhos é afetada pela poluição plástica por meio da ingestão de resíduos e bioacumulação, acarretando danos em larga escala em várias espécies marinhas (Elgamsy *et al.*, 2022). Além dos resíduos das indústrias, uma enorme concentração de resíduos agrícolas, oriundos de etapas de fabricação é rotineiramente descartada em aterros sanitários, e sua decomposição demanda um tempo considerável. Em particular, a introdução de cargas naturais na composição dos biocompósitos vem crescendo nos setores de construção devido à sua grande disponibilidade e baixo custo, como: sisal, linho, juta, coco, etc, como uma alternativa sustentável para a redução dos polímeros sintéticos e de resíduos gerados na agricultura (Taurino; Bondioli; Messori, 2023).

Nesse entendimento, a exploração do babaçu é uma atividade alternativa e complementar à agricultura de subsistência, além de fornecer meios de sobrevivência para muitas famílias e comunidades que dependem da comercialização do babaçu (Teixeira, 2008). Atualmente, pode ser utilizado também como agente de reforço e favorecer a minimização dos problemas ambientais por ser um produto de custo reduzido, renovável, não tóxico, contribuindo na confecção de compósitos verdes, em substituição aos plásticos sintéticos (Tapia-Blácido *et al.*, 2023). O mesocarpo de babaçu é uma carga abundante e economicamente viável disponível naturalmente nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, sua utilização em mistura com polímeros resultará em um elemento inteiramente reciclável, de menor custo e com benefícios socioeconômicos (Rodi *et al.*, 2018). A Figura 1 ilustra o fruto do babaçu.

Figura 1 - Fruto do babaçu



Fonte: Veloso (2023).

A durabilidade dos polímeros e sua resistência ao intemperismo são um dos grandes problemas para seu uso na construção civil, especialmente quando aplicado em áreas externas (Vasconcelos *et al.*, 2020). O aquecimento, a radiação solar ultravioleta, o oxigênio atmosférico, a água e o ambiente químico são fatores que levam os polímeros ao processo de degradação e envelhecimento (Ratanawilai; Taneerat, 2018).

Para a indústria da construção civil, a exposição a agentes externos, é de suma relevância, pois os materiais de construção são regularmente expostos às adversidades e uma simples mudança de cor ou uma ruptura no material, resultante de seu envelhecimento, poderá nortear para sua inviabilidade de aplicação (Andrady *et al.*, 1998). São uma variedade de falhas que o envelhecimento natural e/ou químico proporciona aos materiais poliméricos, como: descoloração, amarelamento, desaparecimento da resplandescência e opacidade, redução de propriedades mecânicas, aumento da absorção de água, surgimento de tricas, redução da massa molar e outras mudanças observadas quimicamente (Vasconcelos *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2018).

A análise da degradação e estabilização de polímeros é de grande importância em relação ao aspecto científico e industrial, pois o conhecimento dos mecanismos de degradação desses materiais assegura uma maior vida útil aos produtos produzidos (Lu *et al.*, 2015); produtos esses que podem ser usados como a camada de isolamento dos tubos de abastecimento de água, tubos de drenagem, fios e cabos de material de isolamento de parede dentre outras funções (Shen *et al.*, 2020).

As tendas são estruturas versáteis e amplamente utilizadas para abrigo temporário em várias atividades ao ar livre, como acampamentos, festivais, eventos esportivos e militares. A busca por materiais mais sustentáveis e renováveis para a construção dessas tendas tem ganhado cada vez mais importância. Nesse contexto, o mesocarpo de babaçu surge como uma alternativa promissora. A busca por materiais mais sustentáveis e eficientes para a construção dessas tendas tem se tornado uma prioridade na indústria da construção (Ayeter *et al.*, 2021).

A tenda carpa também é fabricada para atender canteiros de obras, com a facilidade na montagem, com acabamento exclusivo e robusto; possuindo isolamento térmico. O formato curvado facilita o encaixe e aumenta a resistência às intempéries (BR Indústria, 2023).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo desenvolver misturas e biocompósitos de polietileno verde de alta densidade (PEADV) e mesocarpo de babaçu (MB) com e sem a utilização de polietileno enxertado com anidrido maleico (PEgMA) e propor sua aplicação na construção civil. Para isso, foram avaliadas as características morfológicas, propriedades mecânicas, resistência química em meios ácido e básico e resistência ao impacto dos compósitos produzidos. Adicionalmente, conforme a norma NBR15575-1 (ABNT, 2021), que define os requisitos e critérios de desempenho para edificações habitacionais, os materiais utilizados na construção civil devem apresentar resistência mecânica adequada, ser pouco suscetíveis ao aparecimento de manchas e resistir a alterações de cor quando expostos a processos de limpeza. Isso foi verificado nas amostras submetidas a solução de hidróxido de sódio (meio básico) e ácido clorídrico (meio ácido), conforme especificado pela norma D543-21 (ASTM, 2021a). As práticas de exposição a reagentes realizadas por no mínimo sete dias, preveem a avaliação de mudanças em peso, dimensões, aparência, cor, resistência e outras propriedades mecânicas.

Parte experimental

Materiais

Matriz polimérica

Na tentativa de desenvolver um material com menor impacto ambiental, esta pesquisa foi desenvolvida utilizando como matriz polimérica o polietileno verde de alta densidade (PEADV), *grade* SHC7260, índice de fluidez 7,2 g/10 min (190 °C/2,16 kg) e massa específica 0,959 g/cm³, fornecido pela Braskem-SA.

Carga vegetal

Como forma de estimular e intensificar o uso de materiais regionais, foi utilizada como carga vegetal o mesocarpo de babaçu, fornecido pela Empresa Florestas Brasileiras S. A. (Itapecuru Mirim, Maranhão), extraída da planta *Orbignya Phalerata* Mart. e adquirida na forma de pó micronizado com granulometria inferior a 150 µm.

Agente compatibilizante

O polietileno de alta densidade enxertado com anidrido maleico (PEgMA), Orevac[®] 18507, índice de fluidez 5 g/10 min (190 °C/2,16 kg) e massa específica 0,954 g/cm³, contendo 1% em massa de anidrido maleico, foi fornecido pela Arkema Innovative Chemistry e utilizado como agente de acoplamento.

Métodos

Preparação das misturas e dos biocompósitos

O mesocarpo de babaçu foi seco em estufa à 80°C durante 24 horas de acordo com a metodologia de *Silva et al.* (2021).

A porcentagem máxima de mesocarpo de babaçu misturado à matriz polimérica foi de 3%, considerando a metodologia descrita por Veloso (2023) e também com base em trabalhos anteriores do grupo de pesquisa (Mesquita; Alves; Barbosa, 2022; Silva *et al.*, 2022b; Oliveira *et al.*, 2021a, 2021b; Rodrigues *et al.*, 2021), além da limitação imposta pelo equipamento utilizado. A Tabela 1 apresenta as composições que foram preparadas no trabalho.

As diferentes composições foram processadas em extrusora monorosca (L/D 26), modelo AX-16 da AX Plásticos. O perfil de temperatura adotado para as zonas de aquecimento 1, 2 e 3 foi de 185, 190 e 195 °C, respectivamente, e rotação de 50 rpm. Os materiais extrudados foram resfriados em água, granulados no formato de *pellets* e acondicionados em estufa sob temperatura de 80 °C por um período de 24 horas.

Foram preparados compósitos contendo agente compatibilizante e misturas com a ausência destes, a fim de verificar se o aditivo apresentará influência nos resultados.

Os corpos de prova para ensaios de tração foram moldados de acordo com a norma D638-21 (ASTM, 2021b) (corpo de prova tipo IV) em injetora da marca Eurostec, modelo BL52. As temperaturas das zonas de aquecimento 1, 2 e 3 foram de 185, 190, 200 e temperatura de bico 200 °C, respectivamente, com tempo de ciclo de 35 segundos e temperatura do molde de 25 °C, com 5 corpos de prova para cada sistema produzido. Os corpos de prova para ensaio de impacto também foram moldados na mesma injetora e de acordo com a norma D256 (ASTM, 2023). Os resultados foram reportados utilizando a média de 7 corpos de prova para cada sistema produzido.

Tabela 1 - Composições adotadas para o PEADV e seus sistemas

Composições	PEADV (%)	MB (%)	PEgMA (%)
PEADV	100	-	-
PEADV/1,5MB	100	1,5	-
PEADV/3MB	100	3	-
PEADV/1,5MB/PEgMA	100	1,5	3
PEADV/3MB/PEgMA	100	3	3

Nota: *a porcentagem de mesocarpo de babaçu e de polietileno enxertado com anidrido maleico foi baseada na massa do polietileno verde de alta densidade (em partes por cem de matriz).

A etapa de processamento dos compósitos foi realizada nos Laboratórios de Polímeros e Materiais Conjugados (LAPCON) e de Materiais Poliméricos, ambos da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Caracterização dos biocompósitos

Microscopia óptica (MO) e Análise visual

A análise morfológica da superfície e da região de fratura dos corpos de prova foi realizada por meio de um microscópio óptico marca Leica Microsystems, modelo MD500, operando no modo de reflexão com câmera de captura ICC 50E com ampliações de 40X (500 μm) e 100X (200 μm). A caracterização foi realizada no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados (LAPCON) da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

Degradação química

Para avaliar a resistência química da superfície do PEADV e de seus sistemas, em meio ácido e básico, os mesmos foram expostos a soluções de hidróxido de sódio (1%) e ácido clorídrico (10%), com o objetivo de simular substâncias encontradas em formulações para produtos de limpeza. Para tal, 5 corpos de prova, de cada composição, foram imersos em cada uma das soluções em intervalos de catorze e vinte e um dias, sob temperatura ambiente e acondicionados em *Erlenmeyers* recobertos com papel alumínio. Após o período de exposição, os corpos de prova foram secos com papel absorvente e colocados em dessecador para a retirada de umidade por 5 dias e, em seguida foram submetidos ao teste de resistência à tração. O teste de resistência química foi realizado segundo a norma D543-21 (ASTM, 2021a).

O tempo de exposição mínimo à reagentes, de acordo com a norma D543-21 (ASTM, 2021a), é de sete dias, previstas mudanças em massa, dimensões, aparência (perda de brilho), cor (amarelecimento), perda de propriedades mecânicas, aumento da capacidade de absorver água, desenvolvimento de fragmentação e trincas internas no material, entre outras modificações químicas. Os ácidos são substâncias que em solução aquosa sofrem ionização, liberando como cátions somente H^+ , enquanto as bases são substâncias que sofrem dissociação iônica, liberando como único tipo de ânion os íons OH^- (hidroxila), onde suas concentrações e especificações estão selecionados de acordo com uma lista de reagentes presente na referida norma.

A Figura 2 ilustra o acondicionamento das amostras durante a execução do referido teste.

Comportamento mecânico

O teste de tração foi realizado em máquina de ensaios universal EMIC, modelo DL 30000, pertencente ao Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da UFPI, empregando célula de carga de 5 kN e velocidade de 50 mm/min, sob temperatura ambiente. Foram determinados: tensão de escoamento, o módulo de elasticidade e a alongamento dos corpos de prova antes e após o ensaio de resistência química, de acordo com a norma D638-21 (ASTM, 2021b). Os resultados obtidos correspondem à média e desvio-padrão calculados a partir de 5 amostras de cada formulação.

Figura 2 - Algumas das amostras acondicionadas durante o processo de degradação química



Resistência ao impacto

O ensaio de resistência ao impacto IZOD foi realizado conforme a norma D256 (ASTM, 2023) em aparelho da marca Walter, operando com pêndulo de 2,75 J. As amostras foram entalhadas com profundidade do entalhe de 2,5 mm antes de serem submetidas ao impacto sendo os resultados médios de 7 corpos de prova reportados.

Todo o procedimento foi realizado no Laboratório de Polímeros do Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Piauí (UFPI) em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), onde foi feito o entalhe das amostras.

Tratamento de dados

Todos os dados coletados foram avaliados estatisticamente por meio da análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias de *Tukey* ao nível de 5% significância ($p < 0,05$) utilizando *softwares* específicos.

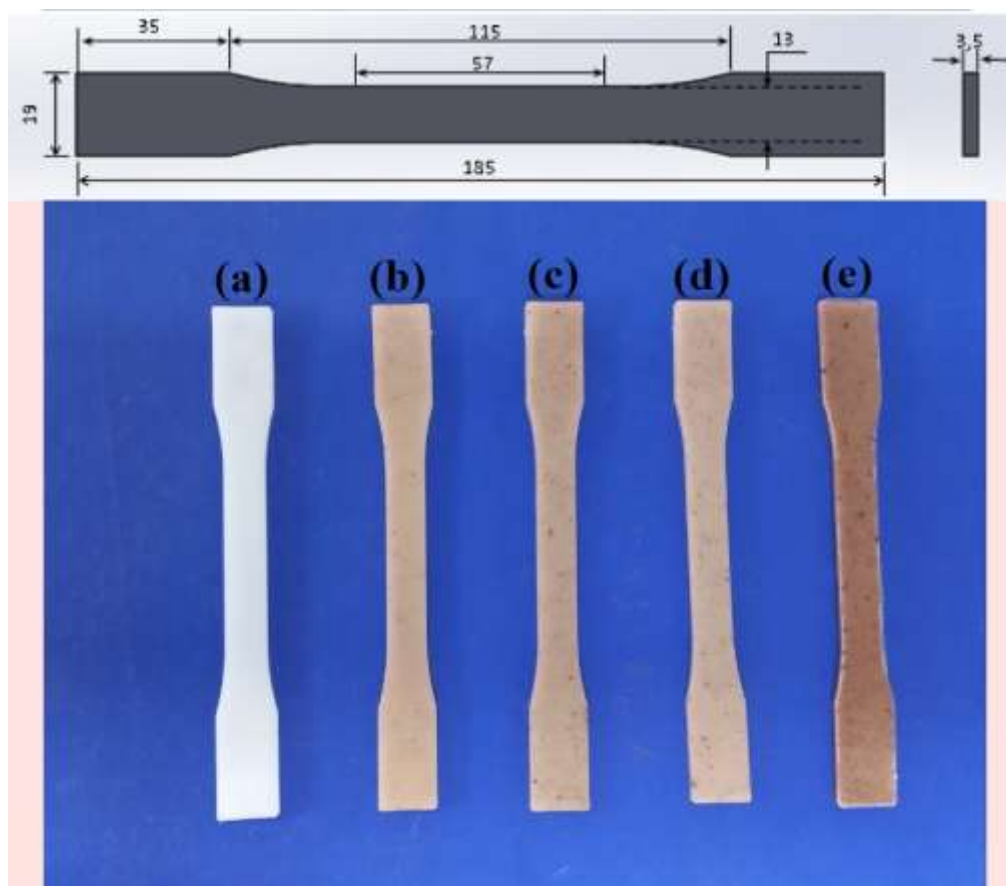
Resultados e discussão

Caracterização dos biocompósitos

Análise visual e microscopia óptica

A análise visual dos corpos de prova nas diferentes composições (Figura 3) apontou acabamento superficial satisfatório, sem irregularidades de injeção, porém a presença de aglomerados (pequenos pontos escuros) oriundos do mesocarpo de babaçu (MB) foi observada. O acréscimo de MB originou a mudança de coloração das amostras, variando de uma tonalidade branca, que é característica do PEADV puro para um tom mais escuro, devido à cor marrom do mesocarpo de babaçu.

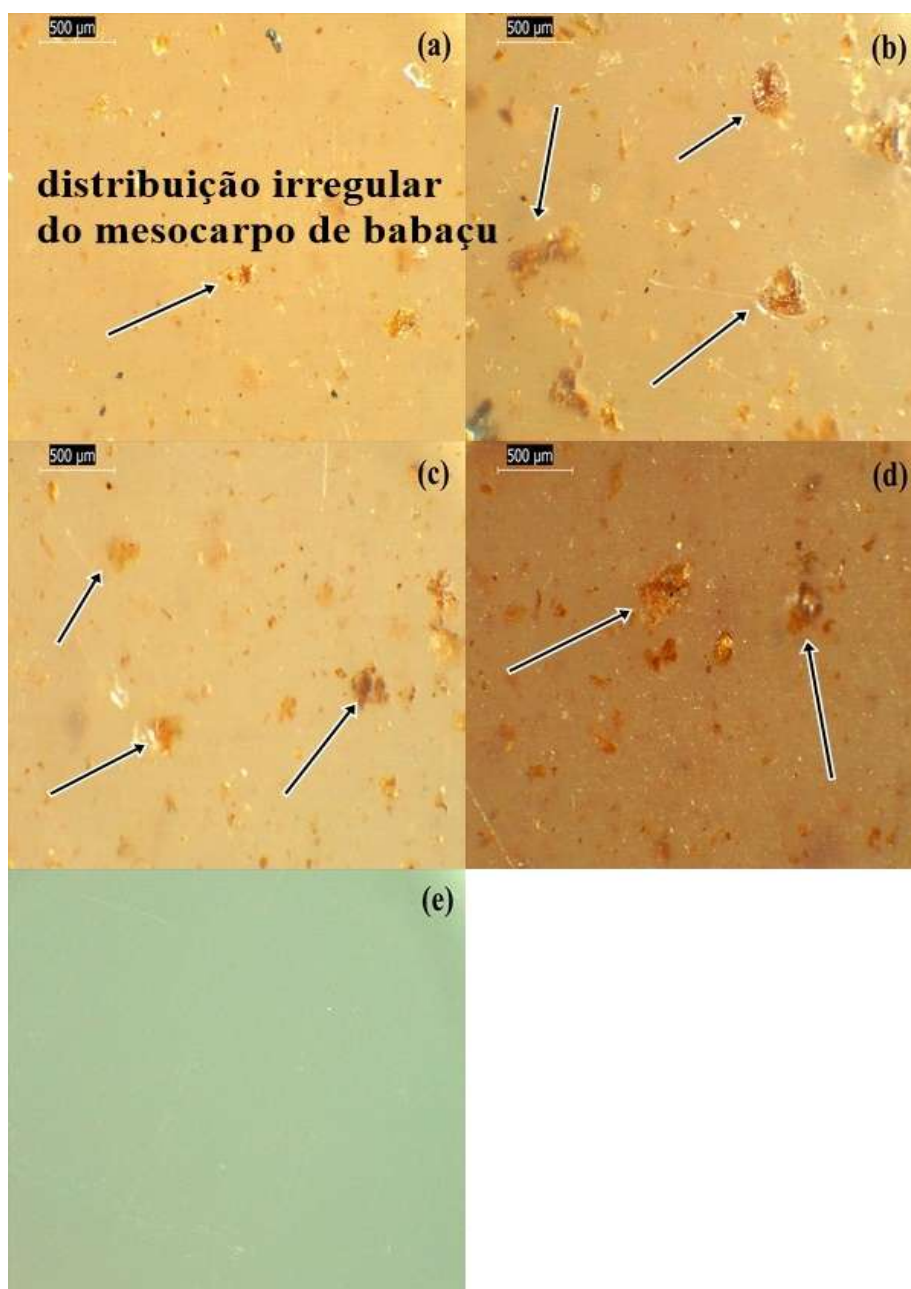
Figura 3 - Análise visual do PEADV, misturas e seus compósitos: (a) PEADV puro, (b) PEADV/1,5MB, (c) PEADV/3MB, (d) PEADV/1,5MB/PEgMA e (e) PEADV/3,0MB/PEgMA



Conforme esperado, as composições contendo o PEGMA apresentaram um melhor acabamento da superfície e a distribuição da cor mais homogênea, apontando que a adição do compatibilizante proporcionou uma melhor interação entre o reforço e a matriz do compósito formado (Barbosa *et al.*, 2020). As amostras submetidas aos ensaios de resistência química não apresentaram alteração visual em comparação às demais, por consequência não foram exibidas.

As micrografias ópticas com ampliação de 40x da superfície dos corpos de prova não expostos ao ensaio de resistência química, corroboram com os aspectos observados na inspeção visual. A partir da análise das superfícies das amostras observou-se acabamento superficial livre de bolhas e distribuição irregular do mesocarpo de babaçu no interior e na superfície dos corpos de prova, como mostram as indicações (setas em cor preta) na Figura 4. A baixa distribuição e dispersão da carga pode ser atribuída ao tipo de processamento realizado, pois a extrusora monorosca dificulta a alimentação e dispersão dos materiais, assim como a baixa densidade da carga que causa problemas no processo de mistura via tamboreamento.

Figura 4 - Microscopia óptica 40x da superfície dos corpos de prova antes da degradação química dos compósitos: (a)PEADV/1,5MB, (b)PEADV/3MB, (c)PEADV/1,5MB/PEGMA, (d)PEADV/3MB/PEGMA e (e) PEADV puro



Em seu estudo, Silva *et al.* (2023) avaliaram o resultado da distribuição granulométrica do mesocarpo, onde ficou evidente que nem todas as partículas possuem o mesmo tamanho. Portanto, vários tamanhos estão presentes, descritos por uma ampla faixa de distribuição, corroborado o fato de o mesocarpo de babaçu ser uma matéria-prima natural, levando à heterogeneidade das partículas.

O desempenho mecânico dos compósitos reforçados com cargas naturais depende de vários fatores, como a fração de volume, densidade, distribuição e dispersão da carga, geometria das superfícies expostas e presença de agentes compatibilizantes, dentre outras. A incorporação do polietileno enxertado com anidrido maleico ajudou na melhor dispersão da carga na matriz polimérica, mas não foi capaz de eliminar totalmente os aglomerados de carga nos corpos de prova (Singh *et al.*, 2023). A morfologia da superfície dos grânulos é essencial no estudo da relação estrutura-propriedade e, portanto, desempenha um papel importante no processamento de materiais amiláceos, como o mesocarpo de babaçu (Wang; Vanga; Raghavan, 2021).

Alguns grânulos estão “quebrados” e, consequentemente, com formato semiesférico. Essa quebra se deve aos esforços mecânicos inerentes ao processamento industrial de extração da farinha, levando a trincas superficiais, onde as forças de atrito ou cisalhamento são suficientes para causar rachaduras na superfície dos grânulos (Silva *et al.*, 2023).

Esses fatores controlam vários processos de deformação micromecânica que ocorrem em compósitos sob tensão, o que acaba levando à falha dos mesmos. Os mecanismos de falha dominantes são o cisalhamento da matriz e processos relacionados às partículas, como descolagem, arrancamento e fratura, sendo esses processos competitivos e podem ocorrer simultaneamente ou consecutivamente (Rahman *et al.*, 2021).

Uma boa dispersão e distribuição da carga na matriz são condições imprescindíveis para ganhos nas propriedades mecânicas, a formação de aglomerados evita o envolvimento completo da carga pela matriz polimérica, gerando concentração de tensões e, consequentemente, redução das propriedades mecânicas do material como mostra em Fernandes *et al.* (2014).

Na Figura 5 são apresentadas as micrografias ópticas com ampliação de 100x da superfície de fratura dos compósitos. A incorporação de carga comprometeu a capacidade da matriz polimérica de se deformar ocasionando fratura nas regiões onde a carga formou aglomerados (Figura 5a, 5b, 5c e 5d). Apesar de ser possível observar uma melhora na distribuição de MB na superfície dos corpos de prova pela utilização do PEGMA, o compatibilizante não foi capaz de recuperar a ductibilidade típica da matriz, que não apresentou ruptura (Figura 5e).

Análises e resultados semelhantes foram discutidos nas pesquisas de Rahman *et al.* (2021), onde compósitos foram obtidos com uma distribuição homogênea, mas com a presença de aglomerados de carga em alguns locais, causados pela ineficiente dispersão das cargas no interior da matriz polimérica, responsável pela redução da resistência à tração em comparação à matriz pura. No entanto, uma boa adesão de reforço e matriz melhoraram as propriedades mecânicas dos compósitos que utilizaram o compatibilizante.

As imagens de microscopia óptica com ampliação de 100x da região de fratura dos compósitos expostos ao ensaio de resistência química em meio ácido (Figura 6) e em meio básico (Figura 7) corroboram com os aspectos observados na inspeção visual, ou seja, não apresentaram alteração visual em comparação às amostras não sujeitas ao ataque químico, o que pode ser atribuído à boa estabilidade química do PEADV. A estrutura semicristalina do polietileno que é composta por cadeias lineares de átomos de carbono conectados por ligações de hidrogênio o torna altamente resistente a quebra como mostra Gilani *et al.* (2023).

Figura 5 - Microscopia óptica 100x da região de fratura dos corpos de prova antes da degradação química: (a) PEADV/1,5MB, (b) PEADV/3MB, (c) PEADV/1,5MB/PEgMA, (d) PEADV/3MB/PEgMA e (e) PEADV puro

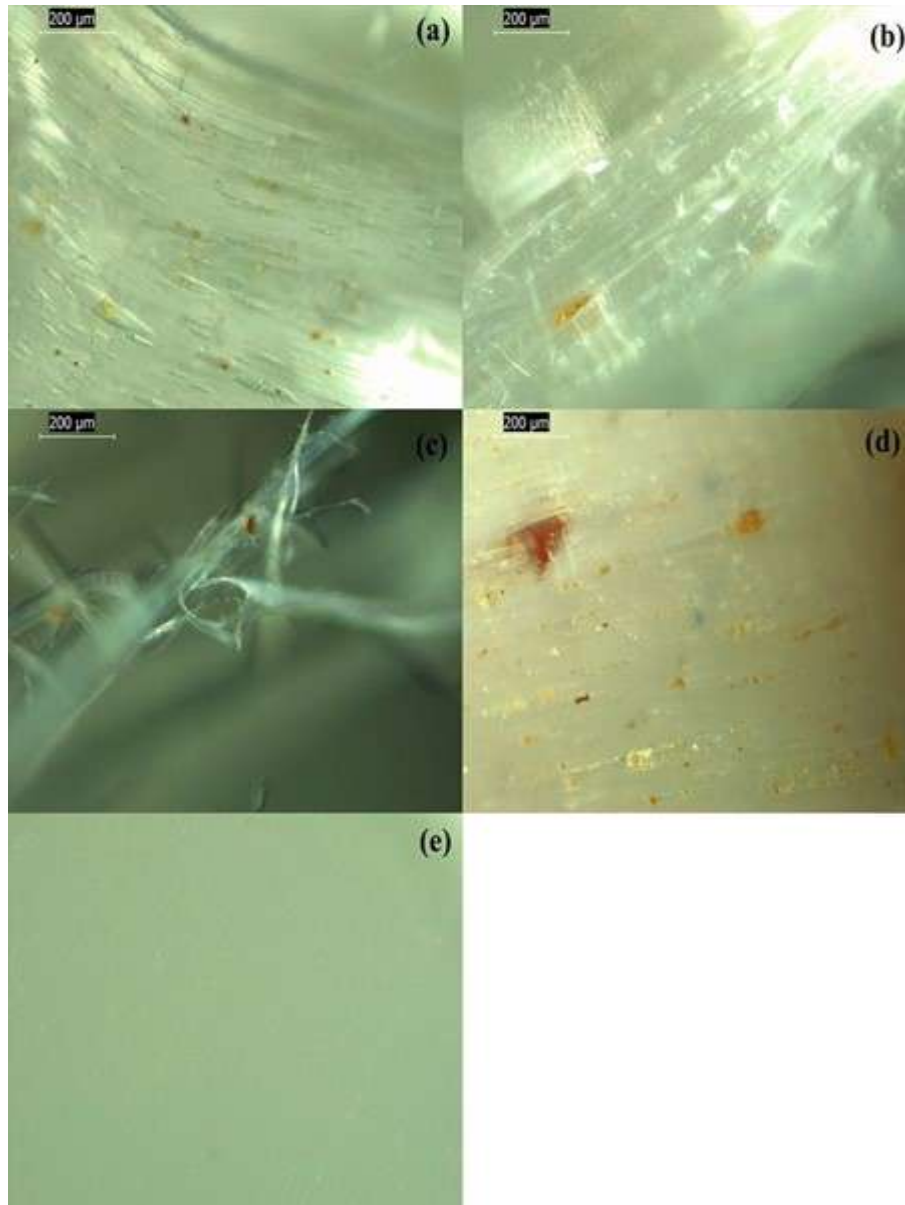


Figura 6 - Microscopia óptica 100X da região de fratura dos corpos de prova após a degradação em meio ácido por 21 dias: (a) PEADV/1,5MB, (b) PEADV/3MB, (c) PEADV/1,5MB/PEgMA, (d) PEADV/3MB/PEgMA e (e) PEADV puro

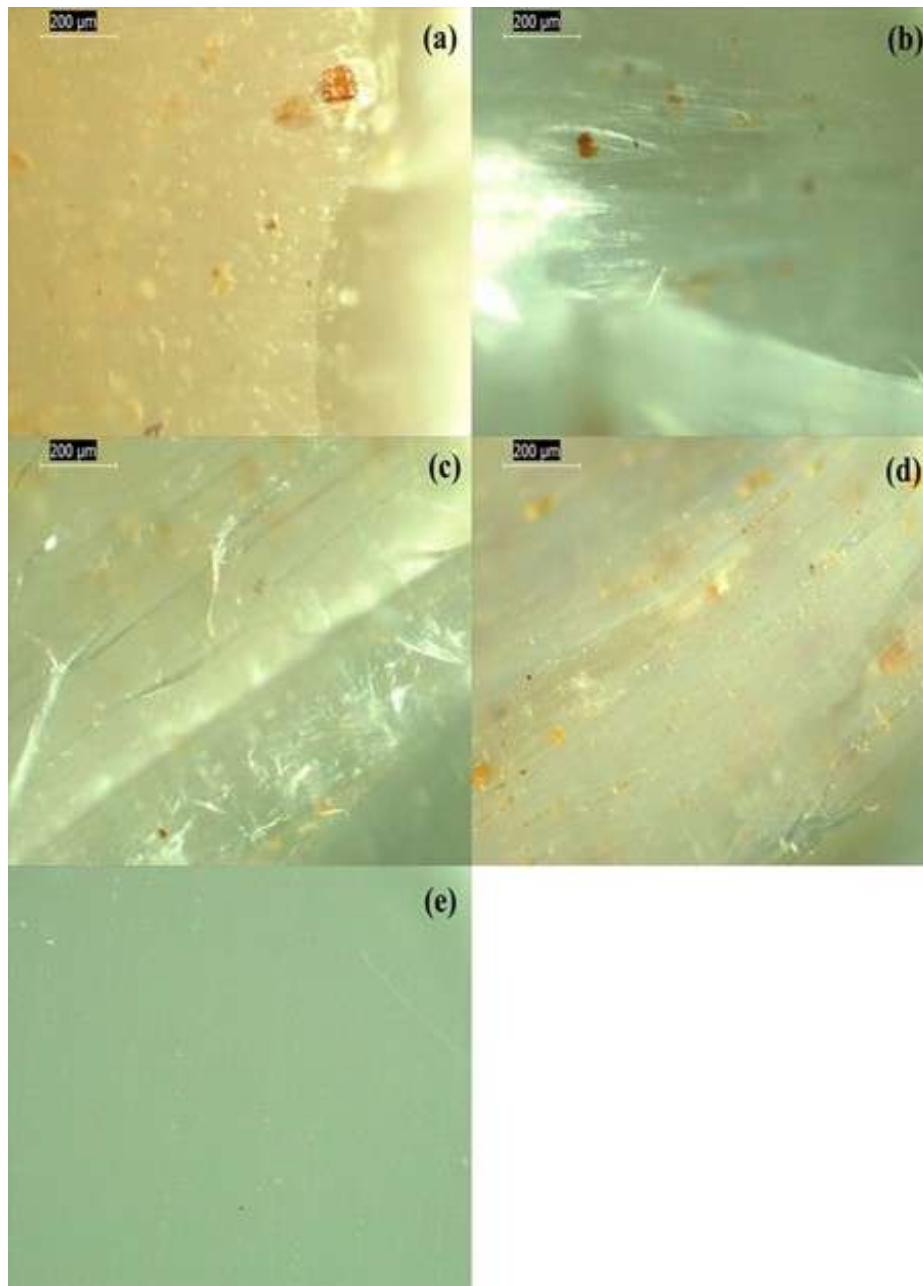
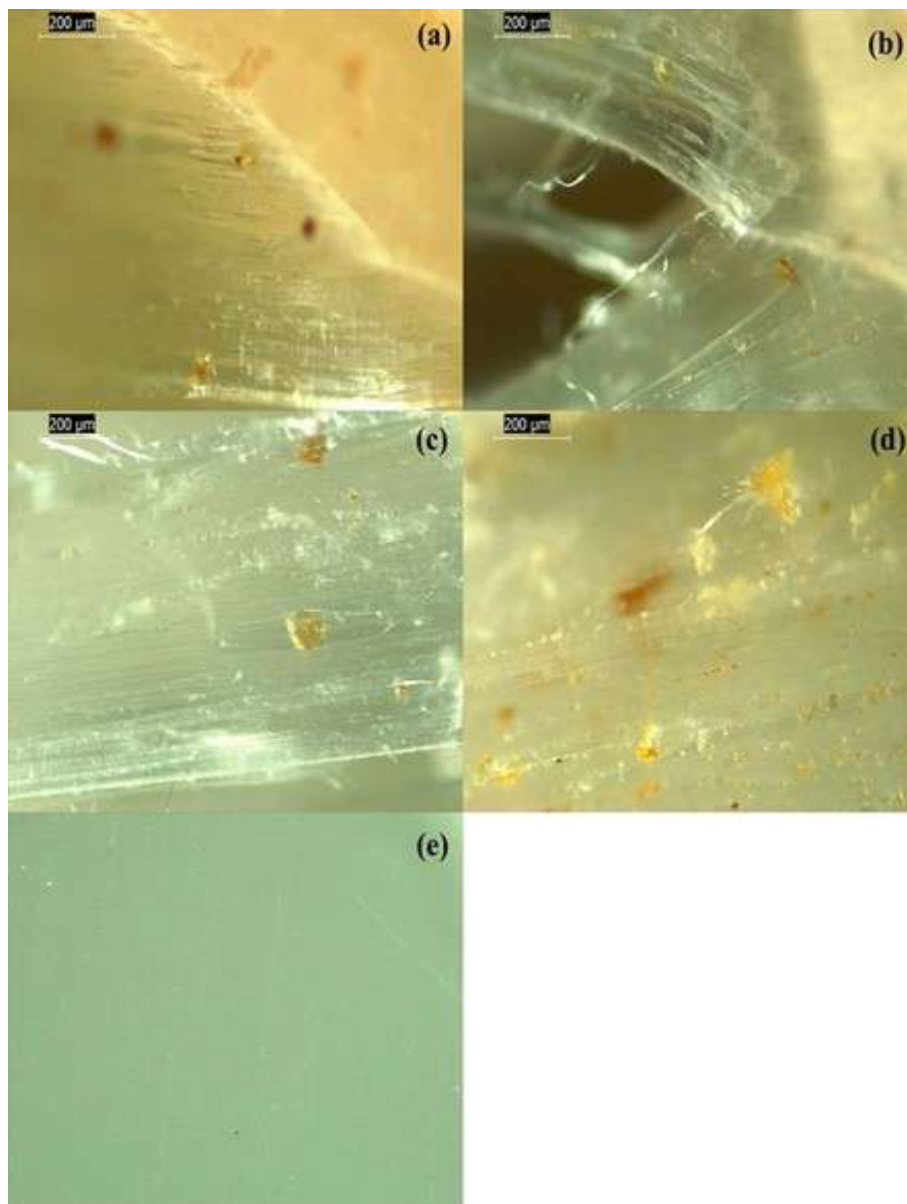


Figura 7 - Microscopia óptica 100X da região de fratura dos corpos de prova após a degradação em meio básico por 21 dias: (a) PEADV/1,5MB, (b) PEADV/3MB, (c) PEADV/1,5MB/PEgMA, (d) PEADV/3MB/PEgMA e (e) PEADV puro



Desempenho mecânico antes da degradação química

As propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração realizado, antes da exposição ao ambiente químico, estão listadas na Tabela 2 e seu comportamento representado na Figura 8. O *software* da máquina de ensaios universal reportou o valor do módulo de elasticidade e das demais propriedades a partir do comportamento da curva tensão x deformação.

A resistência à tração em compósitos reforçados depende fortemente da eficiente transferência de tensão da matriz termoplástica para o reforço, ou seja, a fibra ou partícula tenta reter ou suportar a carga aplicada ao compósito, enquanto a matriz tenta distribuir tal esforço por toda a seção. Assim, cargas de reforço e matrizes têm grande importância na preparação de qualquer compósito e serão analisadas a seguir algumas das propriedades mecânicas dos compósitos e interação entre os materiais constituintes do mesmo (Brites *et al.* 2017).

Os valores de módulo elástico não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre PEADV PURO, PEADV/1.5MB e PEADV/3.0MB. A presença de PEgMA, elevou significativamente ($p < 0,05$) o valor

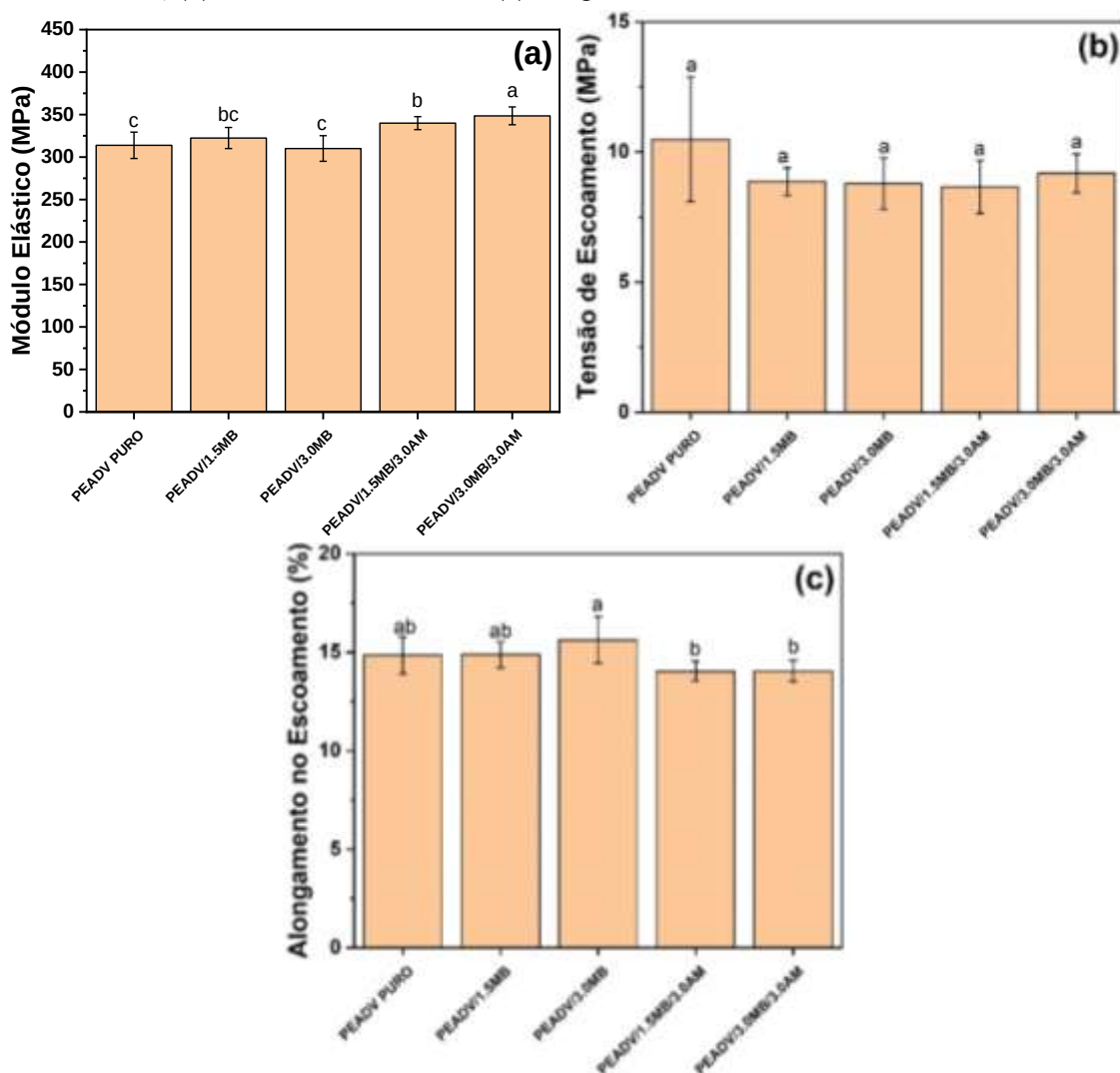
médio do módulo elástico em 12,4% PEADV/3.0MB/3.0AM em relação a PEADV/3.0MB, contudo não foi observada diferença significativa ($p > 0,05$) entre PEADV/1.5MB e PEADV/1.5MB/3.0AM. Aqui se destaca o aumento de módulo elástico apenas quando o teor de MB é maior. Porém, observa-se que os maiores valores de módulo elástico foram obtidos quando o agente compatibilizante foi utilizado.

Tabela 2 - Propriedades Mecânicas antes da exposição química

Composição	Módulo Elástico (MPa)	Tensão de escoamento (MPa)	Alongamento no escoamento (%)
PEADV PURO	$313,82 \pm 15,57^c$	$10,48 \pm 2,39^a$	$14,85 \pm 0,94^{ab}$
PEADV/1.5MB	$322,38 \pm 12,4^{bc}$	$8,86 \pm 0,53^a$	$14,88 \pm 0,66^{ab}$
PEADV/3.0MB	$310,02 \pm 15,07^c$	$8,78 \pm 0,98^a$	$15,63 \pm 1,17^a$
PEADV/1.5MB/3.0AM	$339,92 \pm 7,68^b$	$8,66 \pm 1,00^a$	$14,03 \pm 0,50^b$
PEADV/3.0MB/3.0AM	$348,48 \pm 10,49^a$	$9,18 \pm 0,74^a$	$14,05 \pm 0,53^b$

Nota: ANOVA indica que há diferença significativa entre os valores médios de cada propriedade. Letras diferentes indicam que existe diferença significativa entre os valores médios pelo teste de Tukey com significância de 5% ($p < 0,05$).

Figura 8 - Comportamento das propriedades mecânicas dos sistemas antes da exposição química: (a) módulo elástico, (b) tensão de escoamento e (c) alongamento no escoamento.



Comportamento semelhante foi observado por Fernandes *et al.* (2014) e Brites *et al.* (2017) que, ao analisarem compósitos de pó de cortiça/poliolefinas, identificaram uma discreta melhoria na rigidez do material com a incorporação do reforço vegetal. Fernandes *et al.* (2014) ao analisarem o desempenho mecânico de compósitos de polipropileno/pó de cortiça perceberam que houve aumento da rigidez do material com pequenas quantidades de cortiça (5%) e redução dessa propriedade para maiores porcentagens de carga, tendo essa redução sido atribuída ao aumento da incompatibilidade intrínseca entre as fases de matriz e reforço. O uso do PEgMA possibilitou a recuperação do módulo de elasticidade, indicando que o compatibilizante gerou maior nível de interação entre as fases, havendo um aumento do número de interações químicas na interface, principalmente ligações éster entre a superfície do mesocarpo e o anidrido maleico.

O papel compatibilizante anidrido maleico nas poliolefinas tem sido associado à formação de ligações éster entre seus grupos anidridos e os grupos hidroxila presentes na fibra ou carga de reforço. Simultaneamente, a parte poliolefínica cria emaranhados ou co-cristaliza com as estruturas do PE ou PP. A introdução das poliolefinas propicia a criação de uma ponte adesiva entre a fibra/carga e a matriz polimérica. Esse processo eleva adesão interfacial e facilita a transferência de tensão da matriz polimérica para a fibra de suporte de carga (Hao *et al.*, 2021).

Blendas de poli(adipato-co-tereftalato de butileno)/amido termoplástico(PBAT/TPS) e um biocompósito PBAT/TPS/mesocarpo de babaçu foram preparadas e a análise mostra que o biocompósito possui o maior módulo de elasticidade com valores cerca de duas vezes maiores que os do PBAT puro ou da mistura PBAT/30% TPS. Segundo o estudo, a adição do reforço deve aumentar o módulo elástico da matriz que é incorporada. Além disso, a possível interação dos grupos hidroxila presentes no TPS e a celulose, leva à formação de ligações de hidrogênio, justificando a melhoria desta propriedade (Nunes *et al.*, 2018).

A utilização de material de reforço no PEAD pode ser um desafio à natureza não polar do polímero de polietileno, que limita os potenciais mecanismos de ligação, onde o anidrido maleico surge induzindo grupos funcionais polares na cadeia do PEAD, o que aumenta a energia superficial do polímero, proporcionando melhores propriedades interfaciais e mecânicas de materiais compósitos. Os fatores que governam a tensão de escoamento em um material incluem a mobilidade do segmento da cadeia (Lessa Belone; Kokko; Sarlin, 2022). Observou-se que a presença de MB e PEgMA não afetou os valores de tensão de escoamento.

A adição do PEgMA eleva a tensão de escoamento do sistema com maior concentração de mesocarpo, à medida que aumenta a adesão interfacial melhorando a transferência de esforço para as partículas e promovendo uma distribuição eficiente da tensão aplicada, mantendo, assim, os valores de tensão de escoamento similares ao polímero puro, como observado no estudo de Cedeño *et al.* (2022).

Por fim, notou-se que presença de MB não alterou significativamente ($p > 0,05$) os valores de alongamento no escoamento. Destacando-se um leve aumento de apenas 5,2% para PEADV/3.0MB em relação ao PEADV PURO. Semelhantemente, a presença simultânea de MB e PEgMA não gerou diferença significativa nos valores de alongamento no escoamento, no entanto, uma leve redução de 5,7% em PEADV/1.5MB/3.0AM em relação a PEADV/1.5MB. Uma redução significativa ($p < 0,05$) foi observada entre PEADV/3.0MB e PEADV/3.0MB/3.0AM em aproximadamente 10%.

Essa redução pode ser atribuída à incompatibilidade entre as partículas de MB e a matriz polimérica, sendo comparado com os resultados de Sujin Jose, Athijayamani and Jani (2021), onde os autores afirmaram que partículas como agentes de reforço nos compósitos de matriz polimérica podem ser utilizadas para diminuir o alongamento e aumentar o módulo elástico da matriz polimérica. Podendo ser confirmado nos melhores resultados dos sistemas produzidos onde há presença simultânea de reforço e do agente compatibilizante.

O reforço da matriz polimérica determina um incremento de resistência à tração atribuído ao papel chave de reforço do centro de tensão que absorve as energias de falha. Praticamente, a carga de reforço em uma matriz polimérica reduz a mobilidade das cadeias poliméricas quando a carga de tração é aplicada, como afirmam Cosnita, Cazan and Daniel (2023). Esse resultado corrobora com as micrografias ópticas, onde observou-se uma maior interação molecular entre a maior quantidade de reforço e o compatibilizante, levando ao fortalecimento interfacial e melhor transferência de tensões entre o polímero e a carga.

As características mecânicas dos compósitos poliméricos são melhoradas com a adição de materiais de reforço compatibilizados, corroborando a análise do presente trabalho, onde as composições PEADV1,5/MB/3MA e PEADV3,0/MB/3MA possuem um menor alongamento no escoamento e a composição PEADV3,0/MB/3MA, possui um maior módulo elástico, quando comparada à amostra pura.

Desempenho mecânico após a degradação química do PEADV puro e dos biocompósitos

Degradação química do PEADV puro e de seus biocompósitos em meio ácido e básico (a) módulo elástico, (b) tensão de escoamento e (c) alongamento no escoamento.

Os valores obtidos durante os ensaios de tração dos materiais antes e após exposição química estão listados na Tabela 3 e o comportamento dessas propriedades está representado na Figura 9.

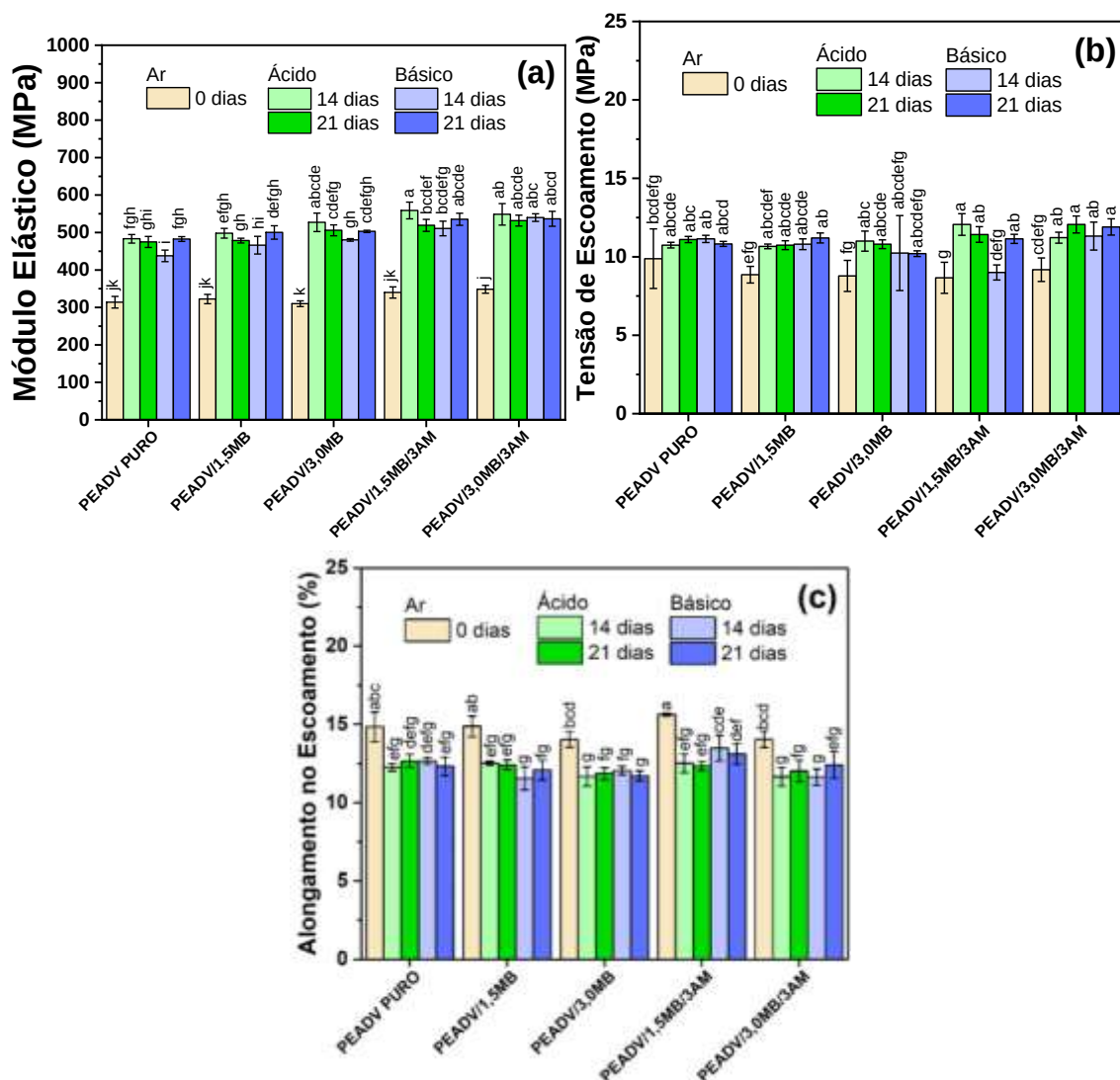
Para as medidas do Módulo Elástico (ME), observou-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios entre os materiais avaliados. Especificamente, estas diferenças estão presentes entre composição, meio e tempo, além da interação composição-tempo e meio-tempo. Não sendo registrado diferenças significativas nas interações composição-meio e composição-meio-tempo. Enquanto, para os valores de Tensão de Escoamento (TE) e Alongamento no Escoamento (AE), verificou-se que existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os valores médios entre os materiais avaliados. Especificamente, estas diferenças estão presentes entre composição e meio, além da interação composição-meio e composição-tempo e meio-tempo. Não sendo registrado diferenças significativas quanto ao tempo, nas interações meio-tempo e composição-meio-tempo.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas dos compósitos antes e depois da exposição química

Composição	Meio	Tempo (dias)	Módulo Elástico (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
PEADV PURO	Ar	0	313,82 ± 15,57 ^{jk}	9,88 ± 1,9 ^{bcd^{efg}}	14,85 ± 0,94 ^{abc}
	Ácido	14	483,20 ± 11,34 ^{fgh}	10,74 ± 0,18 ^{abcde}	12,27 ± 0,24 ^{efg}
	Ácido	21	474,84 ± 14,67 ^{ghi}	11,10 ± 0,20 ^{abc}	12,67 ± 0,42 ^{defg}
	Básico	14	437,66 ± 15,34 ⁱ	11,14 ± 0,23 ^{ab}	12,67 ± 0,2 ^{defg}
	Básico	21	482,56 ± 6,42 ^{fgh}	10,82 ± 0,16 ^{abcd}	12,33 ± 0,59 ^{efg}
PEADV/1,5MB	Ar	0	322,38 ± 12,4 ^{jk}	8,86 ± 0,53 ^{efg}	14,88 ± 0,67 ^{ab}
	Ácido	14	498,10 ± 13,04 ^{efgh}	10,66 ± 0,15 ^{abc^{def}}	12,53 ± 0,13 ^{efg}
	Ácido	21	478,42 ± 6,44 ^{gh}	10,74 ± 0,28 ^{abcde}	12,41 ± 0,33 ^{efg}
	Básico	14	466,20 ± 23,49 ^{hi}	10,80 ± 0,34 ^{abcde}	11,56 ± 0,73 ^g
	Básico	21	500,22 ± 17,97 ^{defgh}	11,20 ± 0,32 ^{ab}	12,08 ± 0,63 ^{fg}
PEADV/3,0MB	Ar	0	310,02 ± 7,68 ^k	8,78 ± 0,99 ^{fg}	14,03 ± 0,5 ^{bcd}
	Ácido	14	527,24 ± 24,58 ^{abcde}	11,00 ± 0,64 ^{abc}	11,68 ± 0,61 ^g
	Ácido	21	505,86 ± 14,63 ^{cdefg}	10,80 ± 0,28 ^{abcde}	11,86 ± 0,38 ^{fg}
	Básico	14	480,1 ± 3,41 ^{gh}	10,24 ± 2,39 ^{abc^{defg}}	12,06 ± 0,27 ^{fg}
	Básico	21	503,10 ± 2,97 ^{cdefgh}	10,20 ± 0,18 ^{abc^{defg}}	11,72 ± 0,31 ^g
PEADV/1,5MB/3 AM	Ar	0	339,92 ± 15,07 ^{jk}	8,66 ± 0,99 ^g	15,63 ± 0,11 ^a
	Ácido	14	558,80 ± 22,27 ^a	12,06 ± 0,69 ^a	12,52 ± 0,6 ^{efg}
	Ácido	21	519,10 ± 16,06 ^{bc^{def}}	11,42 ± 0,5 ^{ab}	12,34 ± 0,29 ^{efg}
	Básico	14	510,82 ± 19,58 ^{bc^{defg}}	9,00 ± 0,48 ^{defg}	13,49 ± 0,82 ^{cde}
	Básico	21	535,38 ± 16,21 ^{abcde}	11,14 ± 0,29 ^{ab}	13,11 ± 0,65 ^{def}
PEADV/3,0MB/3 AM	Ar	0	348,48 ± 10,49 ^j	9,18 ± 0,75 ^{cdefg}	14,05 ± 0,53 ^{bcd}
	Ácido	14	548,54 ± 28,77 ^{ab}	11,22 ± 0,35 ^{ab}	11,66 ± 0,6 ^g
	Ácido	21	531,74 ± 14,51 ^{abcde}	12,06 ± 0,54 ^a	12,03 ± 0,69 ^{fg}
	Básico	14	539,98 ± 10,20 ^{abc}	11,32 ± 0,89 ^{ab}	11,63 ± 0,53 ^g
	Básico	21	536,58 ± 19,84 ^{abcd}	11,90 ± 0,52 ^a	12,41 ± 0,85 ^{efg}

Nota: ANOVA indicou a presença de diferença significativa entre as médias das propriedades avaliadas. Letras diferentes indicam que existe diferença significativa entre os valores médios pelo teste de Tukey com significância de 5% ($p < 0,05$). Ar: corresponde ao teste sem exposição a nenhum meio químico.

Figura 9 - Comportamento das propriedades mecânicas antes e depois da exposição química



Módulo elástico (ME)

Anteriormente a exposição química, observou-se que as variações na composição afetaram significativamente ($p > 0,05$) os valores médios do ME, observando-se um aumento máximo de 11,0% entre PEADV/3,0MB/3AM e o PEADV PURO. Ao expor os materiais aos meios químicos propostos, constatou-se que a composição, o meio e tempo afetaram significativamente ($p < 0,05$) as médias de ME obtidas. A exposição em ambos os meios (ácido ou básico) gerou um aumento significativo ($p < 0,05$) em todas as composições em relação apenas aos materiais não expostos, de modo que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre valores médios de ME para 14 e 21 dias de exposição. Contudo não se observou diferença significativa devido a mudança de meios de exposição.

Mudanças na cristalinidade e reticulação da cadeia molecular são fatores importantes que afetam as propriedades mecânicas. A quebra da cadeia de moléculas emaranhadas e reticuladas no PEADV fez com que elas se reorganizassem em uma fase cristalina. Assim, a cristalinidade aumentou e a parte amorfa da matriz foi removida. Além disso, os autores propuseram que ligações insaturadas se formam gradualmente e participam de reações de ramificação e reticulação durante a etapa de envelhecimento ou uma possível exposição a agentes químicos (Chen *et al.*, 2023).

Como as moléculas apolares são menos capazes de se degradar, a polaridade do polímero desempenha um papel significativo na rapidez com que ele se degrada. Por outro lado, a cristalinidade de um polímero plástico também influencia a rapidez com que ele se degrada; quanto mais cristalino for um polímero, maior

resistência à deterioração ele demonstra, pois mais regularmente estão alinhadas as suas cadeias (Gilani *et al.*, 2023).

Tensão de escoamento (TE)

Anteriormente a exposição química, observou-se que as variações na composição não afetaram significativamente ($p < 0,05$) os valores médios do TE, notando-se uma redução máxima de apenas 1,82 MPa (17,3%) entre PEADV/1,5MB/3AM e o PEADV PURO. Observou-se que as composições PEADV PURO e PEADV/3,0MB/3,0AM não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de TE, semelhantemente também para as composições PEADV/1,5MB, PEADV/3,0MB e PEADV/1,5MB/3,0AM.

Verificou-se que as composições apresentaram comportamento semelhantes para ambos os meios e tempos de exposição, constatando apenas uma diferença significativa ($p < 0,05$) de 3,06 MPa (25,4%) em PEADV/1,5MB/3AM entre os meios (ácido e básico) após 14 dias de exposição. Todas as composições foram afetadas significativamente quanto exposição em ambos os meios. Não se constatou, portanto, diferença significativa entre os valores de TE entre 14 e 21 dias de exposição.

Segundo Tucunduva (2017), o aumento na tensão de escoamento após o ensaio de resistência química pode estar relacionado a uma reorganização, devido a uma maior mobilidade entre as cadeias mais curtas do PEADV formando, possivelmente, novas regiões cristalinas.

Alongamento no escoamento (AE)

Anteriormente a exposição química, verificou-se que as variações na composição também não afetaram significativamente ($p > 0,05$) os valores médios do AE, observando-se uma leve diferença máxima em AE de 0,82% entre PEADV/3,0MB e o PEADV PURO. Quando realizada a exposição, notou-se que tanto o meio ácido como o básico reduziram os valores de AE significativamente ($p < 0,05$) em todas as composições, contudo não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de AE entre 14 e 21 dias de exposição. A máxima diferença observada foi de 4,07% entre PEADV/1,5MB/3AM (zero dias) e PEADV/1,5MB (meio básico em 14 dias).

Essa redução do alongamento pode ser atribuída à incompatibilidade entre as partículas de MB e a matriz polimérica, pois a pequena adesão entre as fases diminui a transferência de tensão entre elas, acarretando uma menor ductilidade, tendo em vista que a tensão não pode ser transferida pela matriz, como afirma Marçal *et al.* (2022).

O PE envelhecido é comumente evidenciado por uma redução nos níveis de antioxidantes, aumento do conteúdo de grupos hidroxila e/ou carbonila, aumento da cristalinidade e craqueamento. Supõe-se que o componente cristalino seja preservado durante a degradação. Portanto, apenas o componente amorfo é degradado, geralmente levando ao aumento da cristalinidade do polímero. O PEAD tem pouca ou nenhuma ramificação e as moléculas podem empilhar-se e formar fortes forças intermoleculares, diminuindo seu alongamento (Chen *et al.*, 2023).

De forma resumida, a degradação pode ocorrer quando a quantidade de energia absorvida excede a energia de ligação de um polímero, dando início ao mecanismo de formação de radicais livres, que resulta na modificação química e na redução do peso molecular (Sousa *et al.*, 2006).

Todos os biocompósitos apresentaram resistência à tração superior a 22MPa e apesar de as normas técnicas não detalharem os valores das propriedades mecânicas para construção de tendas carpa, os materiais comumente usados em sua confecção apresentam resistência à tração igual ou superior a 5MPa (Meng *et al.*, 2021).

Ademais, de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2021), que estabelece os requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, os produtos aplicados à construção civil devem apresentar, assim como adequada resistência mecânica, baixa susceptibilidade ao aparecimento de manchas e alteração de cor quando submetidos a processos como a limpeza, que foi a ocorrência das amostras submetidas às soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico, encontrados em produtos de limpeza, pois não apresentaram mudança estética e nem prejuízos às propriedades mecânicas analisadas.

Resistência ao impacto dos compósitos antes da degradação química

O teste de impacto é conduzido para descobrir como um compósito irá absorver uma carga aplicada repentinamente. Os atributos individuais da carga e da matriz e a ligação na interface reforço-matriz

governam a resistência ao impacto dos materiais compósitos. A natureza da interação interfacial entre polímero e a carga particulada em um impacto direto na resistência ao impacto de compósitos poliméricos reforçados. Este teste caracteriza a energia necessária para a fratura do material que mede a tenacidade da amostra de teste (Figura 10).

Os valores obtidos para resistência ao impacto (RI), antes da exposição ao ambiente químico, estão listados na Tabela 4 e seu comportamento está representado na Figura 11. Verifica-se que a presença e o teor de MB e PEGMA afetaram significativamente ($p < 0,05$) a resistência ao impacto em relação ao PEADV PURO, registrando um leve aumento de 2,8% (PEADV/1.5MB). Não ficou registrada diferença significativa ($p > 0,05$) quanto ao teor de MB. Contudo, a variação do teor de PegMA associado ao MB gerou diferença significativa ($p < 0,05$).

Observou-se um aumento de 1,66% para o PEADV/1.5MB/3.0AM e de 2,87% na resistência ao impacto para o PEADV/3.0MB/3.0AM em relação ao PEADV puro.

A resistência ao impacto dos compósitos reforçados com cargas vegetais é sensível aos próprios constituintes, à interação interfacial, aos processos de produção do compósito e até mesmo às condições do teste (Kumar *et al.*, 2023). Essa diferença pode ser explicada pelos tipos de processos utilizados para a obtenção dos compósitos. No presente estudo, foi possível destacar que as orientações moleculares ocorridas durante a moldagem por injeção serviram como uma barreira à propagação de trinca.

Observou-se ainda, que ocorreu a “Ruptura Completa” (RC) em todos os corpos de prova e composições, ou seja, a amostra foi separada em duas ou mais partes, como pode ser ilustrado na Figura 12.

Figura 10 - Amostra para teste de impacto com suas respectivas medidas

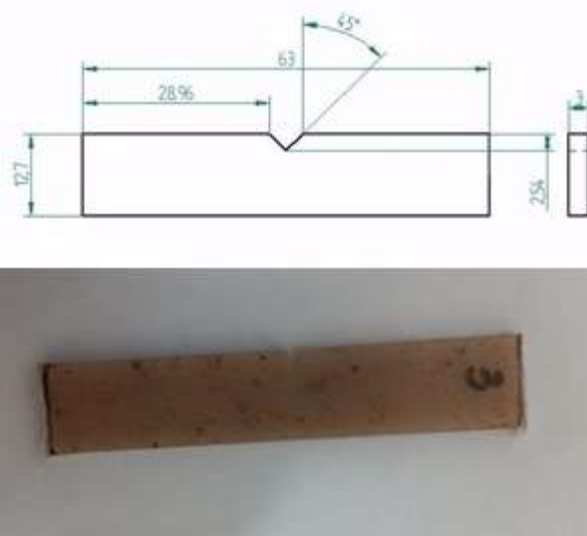


Tabela 4 - Resistência ao impacto dos sistemas antes da exposição química

Composição	Resistência ao Impacto (J/m)
PEADV PURO	$468,16 \pm 2,37^c$
PEADV/1.5MB	$481,27 \pm 1,73^a$
PEADV/3.0MB	$480,19 \pm 4,18^{ab}$
PEADV/1.5MB/3.0AM	$475,95 \pm 2,13^b$
PEADV/3.0MB/3.0AM	$481,58 \pm 2,66^a$

Nota: ANOVA indica que há diferença significativa entre os valores médios de cada propriedade. Letras diferentes indicam que existe diferença significativa entre os valores médios pelo teste de Tukey com significância de 5% ($p < 0,05$).

Figura 11 - Comportamento da resistência ao impacto dos sistemas antes da exposição química

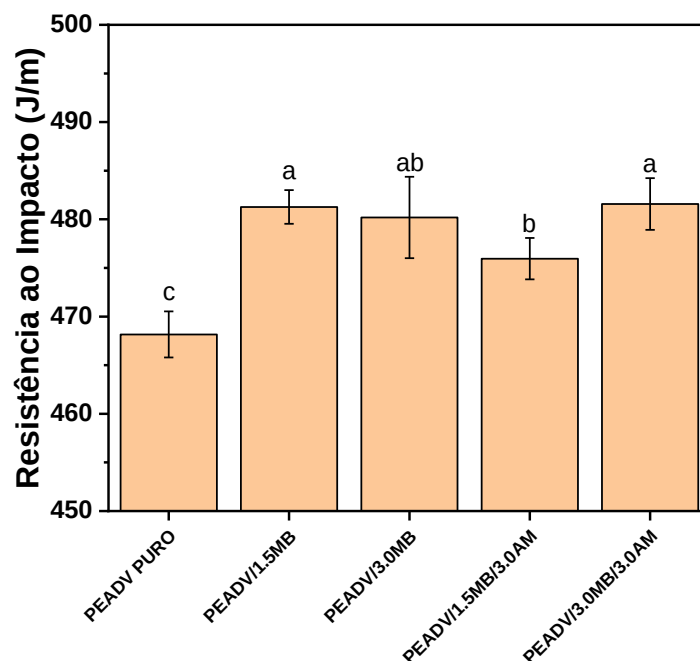


Figura 12 - Amostras de PEADV 3MB/3MA com RC



A literatura informa que o aumento da resistência ao impacto está diretamente relacionado com a transferência de tensão na propagação das trincas. Tal mecanismo de propagação evidencia a importância da distribuição e dispersão da carga para que ocorra um ganho eficiente de tenacidade no compósito. Além disso, a intensidade da interação matriz/carga influencia no desempenho mecânico de resistência ao impacto, sendo melhor atingida através das rotas de processamento, como por exemplo, em extrusora dupla rosca e por meio de misturador interno (Cosse, 2019). Desta forma, resultados de resistência ao impacto mais satisfatórios no presente trabalho, só seriam alcançados com a utilização de equipamentos e rotas de processamentos com perfis dispersivos.

Conclusão

Neste estudo, foram desenvolvidos biocompósitos de polietileno verde de alta densidade (PEADV) e mesocarpo de babaçu (MB) com e sem polietileno enxertado com anidrido maleico (PEGMA) tendo em vista sua possível aplicação na construção civil.

Os biocompósitos produzidos apresentaram bom acabamento, superfície homogênea e alteração da pigmentação original do polímero em virtude da adição do mesocarpo de babaçu. Em relação às propriedades mecânicas, os compósitos apresentaram resistência à tração similar e menor grau de

deformação quando comparados à matriz pura e o aumento na tensão de escoamento e módulo de elasticidade foram recuperados com a adição de PEGMA, que proporcionou maior nível de interação entre as fases. A ductilidade, tensão de escoamento e módulo de elasticidade foram melhorados após a exposição das amostras ao teste de resistência química, sugerindo a ocorrência de um possível processo de cristalização secundária.

Por fim, de maneira preliminar, o objetivo proposto foi cumprido, assim como a utilização do MB, um material sustentável. Além disso, as propriedades dos compósitos quando comparadas às exigências técnicas e características de materiais já utilizados, indicaram potencial para serem aplicados na construção civil, como por exemplo, em tendas carpa para canteiros de obras provisórios, em especial o compósito PEADV/3,0MB/PEGMA, que apresentou resultados mais satisfatórios.

A melhoria do novo material pode ser confirmada apenas por vários testes, como mecânicos, físicos, químicos, etc. A realização dos testes nos dá o comportamento aproximado deste material em relação à condição real de trabalho.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D256**: standard test methods determining the pendulum impact of notched specimens of plastics. Philadelphia, 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D543-21**: standard practices for evaluating the resistance of plastics to chemical reagents. Philadelphia, 2021a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D638-21**: standard test method for tensile properties of plastics. Philadelphia, 2021b.

ANDRADY, A. L. *et al.* Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 46, p. 96-103, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**:edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.

AYETOR, M. D. *et al.* An appraisal of the use of fabric structures in construction projects: a review. **Journal of Engineering Research and Reports**, v. 21, n. 5, p. 20-30, 2021.

BARBOSA, J. D. V. *et al.*Development and characterization of WPCs produced with high amount of wood residue. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 5, p. 9684–9690, 2020.

BEIGPOUR, R.; SHOKROLAAHI, H.; KHALILI, S. M. R. Experimental and numerical analysis of a biodegradable hybrid composite under tensile and three-point bending tests. **Composite Structures**, v. 273, p. 255-263, 2021.

BORONAT, T. *et al.* Development of a biocomposite based on green polyethylene biopolymer and eggshell. **Materials and Design**, v. 68, p. 177–185, 2015.

BR INDÚSTRIA. **Catálogo de produtos**. 2023. Disponível em: <https://brindustria.com.br/produtos/tenda-carpa-barraca-alojamento/>. Acesso em: 10 jul. 2023.

BRITES, F. *et al.* Cork plastic composite optimization for 3D printing applications. **Procedia Manufacturing**, v. 12, p. 156–165, 2017.

CEDEÑO, A. R. *et al.* Effect of compatibilization agents and rice husk on the energy demand on the extrusion of recycled high-density polyethylene composites. **Energy Reports**, v. 8, p. 548–555, nov. 2022.

CHEN, Y. *et al.* Natural aging mechanism of buried polyethylene pipelines during long-term service. **Petroleum Science**, v. 20, n. 5 p. 3143–3156, mar. 2023.

COSNITA M.; CAZAN, C.; DANIEL, C. Aging resistance under short time ultraviolet (UV) radiations of polymer wood composites entirely based on wastes. **Environmental Technology and Innovation**, v. 31, p. 103208–103208, ago. 2023.

COSSE, R. L. *et al.* Preparation of syntactic foams made from green polyethylene and glass: morphological and mechanical characterization. **Materials Research**, v. 22, n. 6, p. e20190054, nov./dez.2019.

ELGAMSY, R. *et al.* Developing fire retardant composites of biodegradable polyethylene reinforced with agricultural wastes. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 6, p. 101768, nov. 2022.

FELGEL-FARNHOLZ, A. *et al.* Comparative study on the degradation of HDPE, LLDPE and LDPE during multiple extrusions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 216, p. 110486, out. 2023.

FERNANDES, E. M. *et al.* Functionalized cork-polymer composites (CPC) by reactive extrusion using suberin and lignin from cork as coupling agents. **Composites Part B: Engineering**, v. 67, p. 371–380, 2014.

FLAGA, K. Advances in materials Applied in civil engineering. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 106, p. 173-183, 2000.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made: supplementary Information. **Science Advances**, p. 25–29, jul. 2017.

GILANI, I. E. *et al.* Plastic waste impact and biotechnology: exploring polymer degradation, microbial role, and sustainable development implications. **Bioresource Technology Reports**, v. 24, p. 101606–101606, dez. 2023.

HALLIWELL, S. M. Polymers in Building and construction. **Rapra Review Reports**, v. 13, n. 10, p. 3-27, 2002.

HAO, X. *et al.* Interfacial adhesion mechanisms of ultra-highly filled wood fiber/polyethylene composites using maleic anhydride grafted polyethylene as a compatibilizer. **Materials & Design**, v. 212, p. 110182–110182, dez. 2021.

KASAPOĞLU, E. **Polymer-based building materials: effects of quality on durability**. Istanbul: Dbmc, 2008.

KUMAR, S. *et al.* Recent development in natural fiber composites, testing and fabrication methods: a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 72, n. 2, p. 252-258, fev. 2023.

LESSA BELONE, M. C.; KOKKO, M.; SARLIN, E. The effects of weathering-induced degradation of polymers in the microplastic study involving reduction of organic matter. **Environmental Pollution**, v. 308, p. 119669, set. 2022.

LOPES, M. D. M., *et al.* Natural based polyurethane matrix composites reinforced with bamboo fiber waste for use as oriented strand board. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 12, p. 2317-2324, 2021.

LU, Y. *et al.* Outdoor and accelerated laboratory weathering of polypropylene: a comparison and correlation study. **Polymer Degradation and Stability**, v.112, p. 145-159, 2015.

MARÇAL, V. S. *et al.* Biopolyethylene/macaiúba shell (*Acrocomia intumescens*) composites compatibilized with PE-g-MA and PE-g-AA: influence of macaiúba oil on processing. **Polymer Composites**, v. 43, n. 4, p. 2184–2195, 2022.

MAZUR, K. *et al.* Green high-density polyethylene (HDPE) reinforced with basalt fiber and agricultural fillers for technical applications. **Composites Part B: Engineering**, v. 202, p. 108399, 2020.

MENG, Q. *et al.* An investigation of impact resistance capacity of polypropylene (PP) added plasterboard subjected to soft-body impact. **Composite Structures**, v. 275, p. 114370, 2021.

MESQUITA, P. J. P.; ALVES, T. S.; BARBOSA, R. Development and characterization of green polyethylene/clay/antimicrobial additive nanocomposites. **Polímeros**, v. 32, n. 2, p. e2022022, 2022.

MOHANTY, A. K.; S.; PIN, J.M.; MISRA, M. Composites from renewable and sustainable resources: challenges and innovations. **Science**, v. 362, p. 536-542, 2018.

NUNES, M. A. B. S. *et al.* Rheological, mechanical and morphological properties of poly(butylene adipate-co-terephthalate)/thermoplastic starch blends and its biocomposite with babassu mesocarp. **Polymer Testing**, v. 70, p. 281–288, set. 2018.

OLIVEIRA, R. R. *et al.* Effect of reprocessing cycles on the morphology and mechanical Properties of Poly(Propylene)/Poly(Hydroxybutyrate) blend and its nanocomposite. **Materials Research**, v. 24, n. 4, p. e20200372, 2021b.

OLIVEIRA, T. A. *et al.* Mulch films based on poly(butylene adipate-co-terephthalate)/carnauba wax/sugar cane residue: Effects on soil temperature and moisture. **Journal of Composite Materials**, v. 55, n. 23, p. 3175–3190, 2021a.

RAHMAN, A. *et al.* Utilization of wheat-bran cellulosic fibers as reinforcement in bio-based polypropylene composite. **Industrial Crops and Products**, v. 172, p. 114028, nov. 2021.

RATANAWILAI, T.; TANEERAT, K. Alternative polymeric matrices for wood-plastic composites effects on mechanical Properties and resistance to natural weathering. **Construction and Building Materials**, v. 172, p. 349-357, 2018.

RODI, E. *et al.* Biocomposites Based on Poly(3-Hydroxybutyrate-co-3-Hydroxyvalerate) (PHBHV) and Miscanthus giganteus Fibers with Improved Fiber/Matrix Interface. **Polymers**, v. 10, n. 5, p. 509, maio 2018.

RODRIGUES, S. C. S. *et al.* Preparation and characterization of polymeric films based on PLA, PBAT and corn starch and babassu mesocarp starch by flat extrusion. **Materials Research Express**, v. 8, n. 3, p. 035305, 2021.

SHARMA, A.; SHRIVASTAVA, N.; LOHAR, J. Construction and demolition waste in geotechnical applications: a review. **Materials Today: Proceedings**, v. 72, n. 2, p. 471-478, maio 2023.

SHEN, J. *et al.* Recent progress in polymer-based building materials. **International Journal of Polymer Science**, Taizhou, p. 1-15, dez. 2020.

SILVA, L. R. C. *et al.* Characterization of babassu mesocarp flour as potential bio-reinforcement for poly (Lactic Acid). **Journal of food industry**, v. 7, n. 1, p. 24-24, jul. 2023.

SILVA, L. R. C. *et al.* Physical, morphological, structural, thermal and antimicrobial characterization of films based on Poly(Lactic Acid), organophilic montmorillonite and oregano essential Oil. **Materials Research**, v. 25, n. March, p. e20220043, 2022b.

SILVA, N. F. I. *et al.* Biocomposites based on poly(hydroxybutyrate) and the mesocarp of babassu coconut (*Orbignya Phalerata Mart.*): effect of wax removal and maleic anhydride-modified polyethylene addition. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, n. November-December, p. 3161-3170, 2021.

SINGH, M. K. *et al.* A comprehensive review of various factors for application feasibility of natural fiber-reinforced polymer composites. **Results in Materials**, v. 17, p. 100355, mar. 2023.

SOUSA, A. R. *et al.* The combined effect of photodegradation and stress cracking in polystyrene. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, n. 7, p. 1504-1512, jul. 2006.

SUJIN JOSE, A.; ATHIJAYAMANI, A.; JANI, S. P. A review on the mechanical properties of bio waste particulate reinforced polymer composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 37, p. 1757-1760, 2021.

TAPIA-BLÁCIDO, D. R. *et al.* Use of biobased materials from agro-industrial residues in food packaging: biomedical, and environmental applications. **Chapter 6 - Use of biobased materials from agro-industrial residues in food packaging** v. 1, p. 173-299, 2023.

TAURINO, R.; BONDIOLI, F.; MESSORI, M. Use of different kinds of waste in the construction of new polymer composites: review. **Materials Today Sustainability**, v. 21, p. 100298, mar. 2023.

TEIXEIRA, M. A. Babassu: a new approach for an ancient Brazilian biomass. **Biomass and Bioenergy**, Campinas, p. 857-864, fev. 2008.

TUCUNDUVA, R. C. **Caracterização da poliamida 12 e polietileno de alta densidade antes e depois do envelhecimento em água a diferentes temperaturas**. Rio de Janeiro, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

VASCONCELOS, G. C. M. S. *et al.* Effects of weathering on mechanical and morphological properties cork filled green polyethylene eco-composites. **Polímeros**, v. 30, n. 1, 2020.

VELOSO, C. K. S. **Desenvolvimento de compósitos à base de etileno de alta densidade verde e mesocarpio de babaçu para aplicação em painéis não estruturais**. Teresina, 2023. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2023.

WANG, B. *et al.* Monitoring the degradation of physical Properties and hazards of high-impact polystyrene composite with different ageing time in natural environments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 352, p. 92-100, 2018.

WANG, J.; VANGA, S. K.; RAGHAVAN, V. Influence of high-intensity ultrasound on the IgE binding capacity of Act d 2 allergen secondary structure and In-vitro digestibility of kiwifruit proteins. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 71, 105409, 2021.

Annamaria Faria de Carvalho Loureiro

Metodologia, Análise de dados, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Pesquisa.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais | Universidade Federal do Piauí | Campus Universitário Ministro Petrônio Portela, Ininga | Teresina - PI - Brasil | CEP 64049-550 | Tel.: (86)3234-4454 | E-mail: annamarialoureiro2021@gmail.com

Jefferson Brenno Cardoso Rezende

Metodologia.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais | Universidade Federal do Piauí |
Email: jeffersonbcr2012@hotmail.com

Tatianny Soares Alves

Conceitualização, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais | Universidade Federal do Piauí | E-mail: tsaeng3@yahoo.com.br

Renata Barbosa

Conceitualização, Recebimento de financiamento, Administração do projeto, Supervisão, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais | Universidade Federal do Piauí | E-mail: renatabarbosa@yahoo.com

Editor: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.

Resistência química de misturas e biocompósitos a base de polietileno verde e mesocarpo de babaçu para aplicação na 22 construção civil

Loureiro, A. F. de C.; Rezende, J. B. C.; Alves, T.; Barbosa, R.