



BIOCOMPÓSITO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE COM CASCA DE ARROZ E OXIBIODEGRADANTE ORGÂNICO PARA A PRODUÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020202-216

Cristiano Cunha Costa¹
Zora Ionara Gama dos Santos³
Marcelo Massayoshi Ueki³
Luís Eduardo Almeida⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar um biocompósito de polietileno de alta densidade com casca de arroz e oxibiodegradante orgânico com resistência ao fenômeno do *stress cracking* (ESC) para a produção de embalagens. Para isto, foram produzidos 2 compósitos: um de polietileno de alta densidade com 20% de casca de arroz (PEAD/CA) e outro de polietileno com casca de arroz e oxibiodegradante orgânico (PEAD/CA/EG). Foram realizados ensaios mecânicos de tração com e sem agente tensoativo causador de *stress cracking*. As imagens de MEV mostraram a formação de microfibrilas entre as partículas de casca de arroz e o polietileno, demonstrando uma boa adesão entre a partícula e a matriz polimérica. Para a deformação na ruptura, tensão de escoamento e módulo de elasticidade, o compósito PEAD/CA/EG não apresentou diferença significativa ao realizar os ensaios mecânicos com e sem o agente causador de *stress cracking*. Conclui-se que o compósito PEAD/CA/EG mostrou resultados interessantes, pois o oxibiodegradante orgânico não influenciou os testes com e sem o agente de *stress cracking*, sendo um biocompósito interessante para ser utilizado para a injeção de embalagens de xampus, sabonetes, detergentes, entre outros.

Palavras-chave: *Stress cracking*. Agente tensoativo. Casca de arroz. Oxibiodegradante. Embalagem biodegradável.

¹ Engenheiro Florestal. Universidade Federal de Sergipe (2008), mestrado em Agroecossistemas pela Universidade Federal de Sergipe (2011) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Sergipe (2018). E-mail: cristianocunha1982@hotmail.com

² Engenheira de Materiais pela Universidade Federal da Paraíba (1997), mestrado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal da Paraíba (2000) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2012). Professora adjunto da Universidade Federal de Sergipe. E-mail: zora@gmail.com

³ Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1994), mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1997) e doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (2003). Atualmente é professor adjunto IV do Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Sergipe. E-mail: ueki@gmail.com

⁴ Químico pela Universidade Federal de Sergipe (1992), mestrado em Físico-Química pelo Instituto de Química de São Carlos-USP (1996), doutorado em Físico-Química pelo Instituto de Química de São Carlos-USP (2000) e Pós-Doutorado no Institut de Sciences des Matériaux de Mulhouse (2010). Atualmente é professor Associado da Universidade Federal de Sergipe. E-mail: almeida@gmail.com

HIGH DENSITY POLYETHYLENE BIOCOMPOSITE WITH RICE SHELL AND ORGANIC OXYBIODEGRADANT FOR THE PRODUCTION OF BIODEGRADABLE PACKAGING

ABSTRACT

This work aimed to study a high density polyethylene biocomposite with rice husk and organic oxy-biodegradable with resistance to the phenomenon of stress cracking (ESC) for the production of packaging. For this, 2 composites were produced: one made of high density polyethylene with 20% rice husks (HDPE / CA) and the other made of polyethylene with rice husks and organic oxy-biodegradable (HDPE / CA / EG). Mechanical traction tests were performed with and without a surfactant that causes stress cracking. SEM images showed the formation of microfibrils between the rice husk particles and the polyethylene, showing good adhesion between the particle and the polymeric matrix. For the deformation at break, yield stress and elastic modulus, the HDPE / CA / EG composite showed no significant difference when performing the mechanical tests with and without the agent causing stress cracking. It is concluded that the composite HDPE / CA / EG showed interesting results, since the organic oxy-biodegradant did not influence the tests with and without the cracking stress agent, being an interesting biocomposite to be used for the injection of shampoo, soap, detergent packages. , among others.

Keywords: Stress cracking. Surfactant. Rice husk. Oxy-biodegradable. Biodegradable packaging.

1 INTRODUÇÃO

Os polietilenos são os polímeros mais utilizados devido às várias aplicações: bolsas, garrafas, brinquedos, fios, sacos, sacolas, frascos, embalagens, baldes, brinquedos, tampas, potes, dentre outros (BRASKEM, 2008; BRODHAGEN et al.,

2017; VOX et al., 2016). É por isso que o polietileno de alta densidade (PEAD) é o terceiro plástico mais utilizado no mundo (PETTARIN et al., 2010).

Dependendo de sua aplicação, como tubos, garrafas e contêineres, por exemplo, o PEAD pode ser submetido a fissuras por estresse ambiental (ESC), que é caracterizado pela ação conjunta de estresse e fluido químico agressivo, causando rachaduras no compósito em níveis de estresse inferiores aos requeridos na ausência do líquido (GHANBARI-SIAHKALI et al., 2005). Os fluídos químicos que auxiliam no ESC são, normalmente, substâncias tensoativas, conhecidas como agentes de *stress cracking*, como por exemplo alcoois, sabonetes, corantes, detergentes, entre outros (WEE et al., 2015).

O ESC é reconhecido como responsável por 25% das falhas estruturais dos materiais poliméricos, causando uma redução na vida útil das embalagens e favorecendo ao acúmulo deste material nos aterros diante da sua dificuldade de degradação (GHANBARI-SIAHKALI et al., 2005). Assim, o impacto no meio ambiente e na saúde causado pelo acúmulo desses polímeros não biodegradáveis, tornou-se uma grande preocupação. Para resolver este problema, o desenvolvimento de compósitos ecológicos baseado em uma matriz polimérica com fibras naturais, como a fibra de casca de milho (PANDEY et al., 2017), bagaço de cana (MULINARI et al., 2009) e fibras de bananeira (IBRAHIM et al., 2010), tornou-se uma alternativa adequada para substituir os polímeros convencionais não biodegradáveis.

Entre as fibras naturais de resíduos agrícolas, casca de arroz é interessante para ser inserido como partículas de reforço no polímero devido à grande disponibilidade, biodegradabilidade, compatibilidade de uso, baixo custo e proveniente de fontes renováveis (ALBERTI et al., 2014; ARJMANDI et al., 2015). Alguns estudos, por exemplo, como Wang et al. (2014), Ortiz et al. (2014), Majeed et al. (2014), Tong et al. (2014), Zuhaira e Rahmah (2013a), Zuhaira e Rahmah (2013b) e Bilal et al. (2014) mostraram que compósitos de casca de arroz com o polietileno de alta densidade tem apresentado resultados interessantes no que se refere às propriedades mecânicas, físico-químicas e biodegradabilidade.

Diante das vantagens do compósito de uma matriz polimérica com uma fibra natural como mencionadas acima, até onde foi possível pesquisar, nenhuma pesquisa relatou o estudo sobre o comportamento das propriedades mecânicas deste material na presença de agentes tensoativos causadores de *stress cracking*.

Assim, devido à crescente demanda por materiais ecologicamente corretos com resistência ao fenômeno de *stress cracking*, este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento de um compósito de polietileno de alta densidade com partículas de casca de arroz e aditivo oxibiodegradante orgânico como alternativa para a produção de embalagens.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Como matriz polimérica foi utilizado o polietileno de alta densidade (PEAD) de código IA59U3 (índice de fluidez de 7,3 g/10min; densidade de 0,96 g/cm³) fornecido pela Braskem (Brasil). O agente oxibiodegradante orgânico (EG) utilizado foi doado pela TIV Plásticos (Brasil). A casca de arroz (CA) micronizadas (tamanho com distribuição entre 275 e 512.5 µm) foram fornecidas pela Polissul Cereal (Brasil) e o agente de acoplamento, o anidrido maleico (AM) de código Orevac 18507, foi adquirido da Arkema (Brasil) e como agente de *stress cracking* foi usado o surfactante polyoxietileno (23) lauril éter (agente tensoativo) com 28% de concentração ativa.



2.2 Preparação e caracterização das amostras

Antes da etapa de extrusão, as partículas de casca de arroz foram secadas em estufa de ar quente (SOLAB Científica, SL 102/480) a 120 °C durante, aproximadamente, 4 horas. Em seguida, todos os componentes foram manualmente misturados a seco para homogeneização. As composições dos compósitos poliméricos são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composições dos compósitos estudados

Amostra	AM	EG	CA	PEAD
PEAD	0	0	0	100%
PEAD/EG	0	5%	0	95%
PEAD/AM/CA	10%	0	20%	70%
PEAD/AM/CA/EG	10%	5%	20%	65%

PEAD = Polietileno de Alta Densidade; AM = Anidrido maléico;
CA = Casca de Arroz; EG = Oxibiodegradante Orgânico.

O processo de extrusão foi realizado utilizando uma extrusora dupla rosca co-rotativa (Imacon, DRC 30:40 IF) sob as seguintes condições: velocidade de alimentação de 8,5 rpm, velocidade do parafuso de 117rpm, e um perfil de temperatura de 159°C (zona 1), 165°C (zona 2), 170°C (zonas 3 e 4), 180°C (zonas 5 e 6) e 191°C (zona 7). Finalmente, o extrusado foi resfriado e cortado com um granulador em *pellets*.

Antes da injeção, os pellets foram secos em estufa de ar quente a 120°C por 4h. Então, os *pellets* foram moldados em uma máquina de moldagem por injeção (Battenfeld, HM 45/210DR). As seguintes condições de operação foram utilizadas: um perfil de temperatura de 150°C (zona de alimentação), 170°C (zona de compressão), 190°C (zona do cabeçote), 190°C (zona de dosagem), vazão de 20 cm/s, volume de 40 cm³ e pressão de 1200 bar. A preparação das amostras seguiu as diretrizes da ISO 527-93, amostra tipo I.

2.3 Caracterização

Os espectros de FTIR foram registados utilizando um espectrômetro Nicolet IS10. Os espectros foram obtidos em modo ATR com 64 varreduras e resolução de 4 cm⁻¹ em uma faixa de 4000-600 cm⁻¹. A superfície de fratura dos compósitos foi analisada por MEV usando um microscópio JEOL JSM-5700 a 5 kV. As amostras foram revestidas com uma camada fina de ouro usando um sistema Denton Vacuum Sputter DESK V.

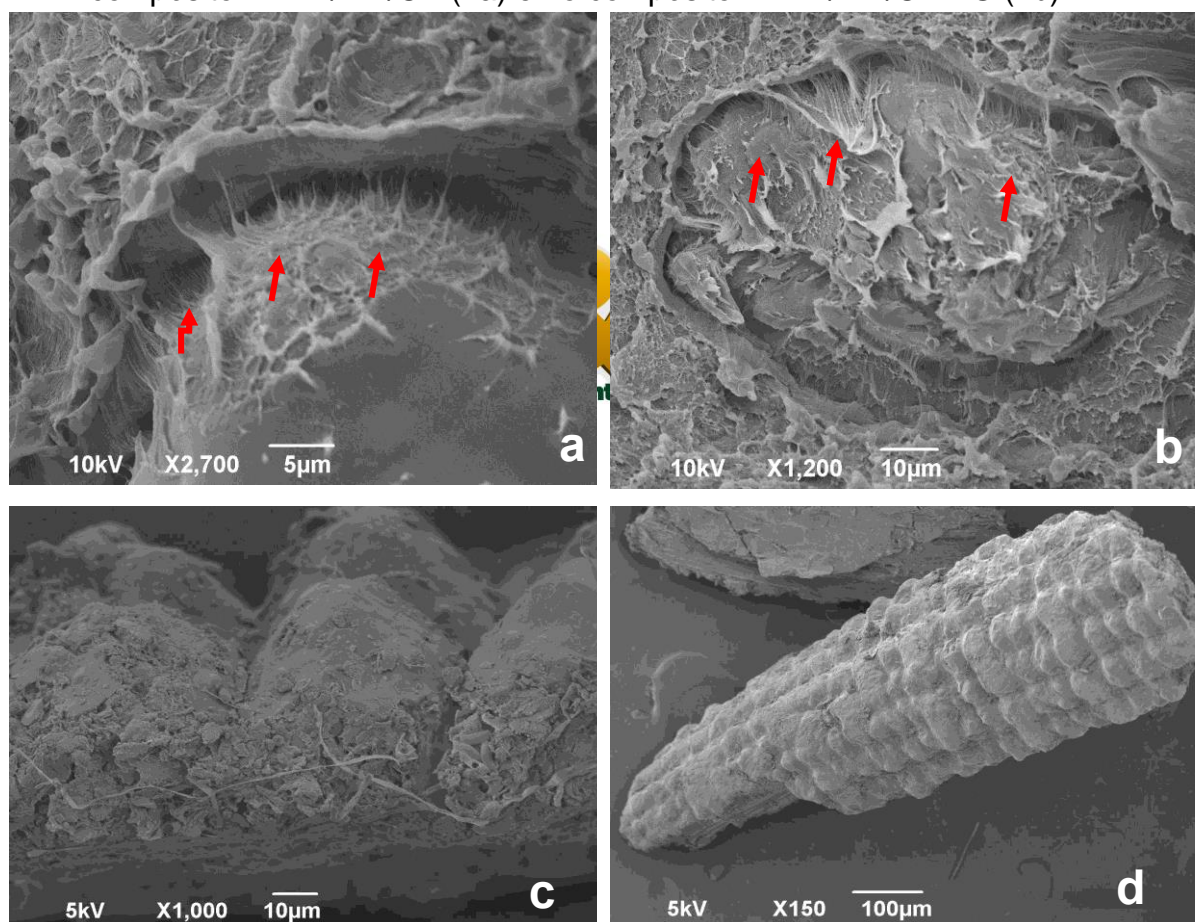
A caracterização mecânica foi realizada por meio de um ensaio de tração convencional e um teste de tração adaptado para o *stress cracking*. Para o ensaio de tração convencional, utilizou-se uma máquina de ensaio universal Instron 3367 (velocidade de deslocamento de 3 mm.min⁻¹ e carga de 30 N), conforme ASTM 638. Para o teste de tração com ESC, uma adaptação da norma ASTM D5397 foi feita usando o mesmo equipamento e os mesmos parâmetros utilizados no ensaio de tração convencional (ASTM 638), porém surfactante de éter laurílico polioxietileno (23) a 28% foi usado como agente causador de *stress cracking*. As propriedades mecânicas avaliadas neste ensaio foram: deformação na ruptura, tensão de escoamento e módulo de elasticidade as quais foram analisadas estatisticamente usando o teste T de Student com intervalo de confiança de 95%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da adesão da casca de arroz à matriz polimérica

A combinação de fibras naturais e PEAD visa melhorar as propriedades mecânicas da matriz polimérica, além de conferir características de biodegradabilidade a esse material (MORANDIM-GIANNETTI et al., 2012). Através das micrografias do MEV (Figura 1), foi possível visualizar a interação entre a matriz polimérica e a casca de arroz utilizando anidrido maleico como agente de acoplamento.

Figura 1. Imagens de MEV das amostras mostrando a formação de microfibrilas entre a partícula de casca de arroz/matriz de polímero no compósito PEAD/AM/CA (1a) e no compósito PEAD/AM/CA EG (1b).



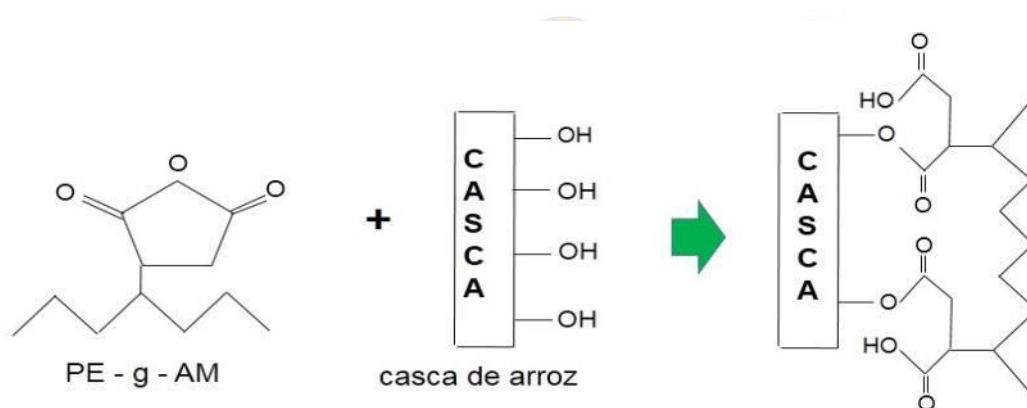
As Figuras 1c e 1d mostram a superfície externa da casca de arroz obtida através de MEV estendido em diferentes ampliações (2,7x; 1,2x; 1x; 150x) .

As Figuras 1a e 1b mostram claramente a existência de microfibrilas (setas vermelhas) que são formadas pela ação do AM. A formação dessas microfibrilas foi uma evidência importante de que as fibras naturais estão satisfatoriamente aderidas à matriz polimérica (ROSA et al., 2010). Adicionalmente, é notado na Figura 1b que

as partículas de casca de arroz são revestidas pelo polímero, isto é, as micropartículas da casca de arroz são dispersas homogeneamente através da matriz polimérica, sugerindo uma interação favorável entre os componentes. Este fato, também, se deve à morfologia externa da fibra natural, que se assemelha à estrutura da espiga de milho, formando uma estrutura densa e facilitando a ancoragem do polietileno nas partículas de CA (Figuras 1c e 1d).

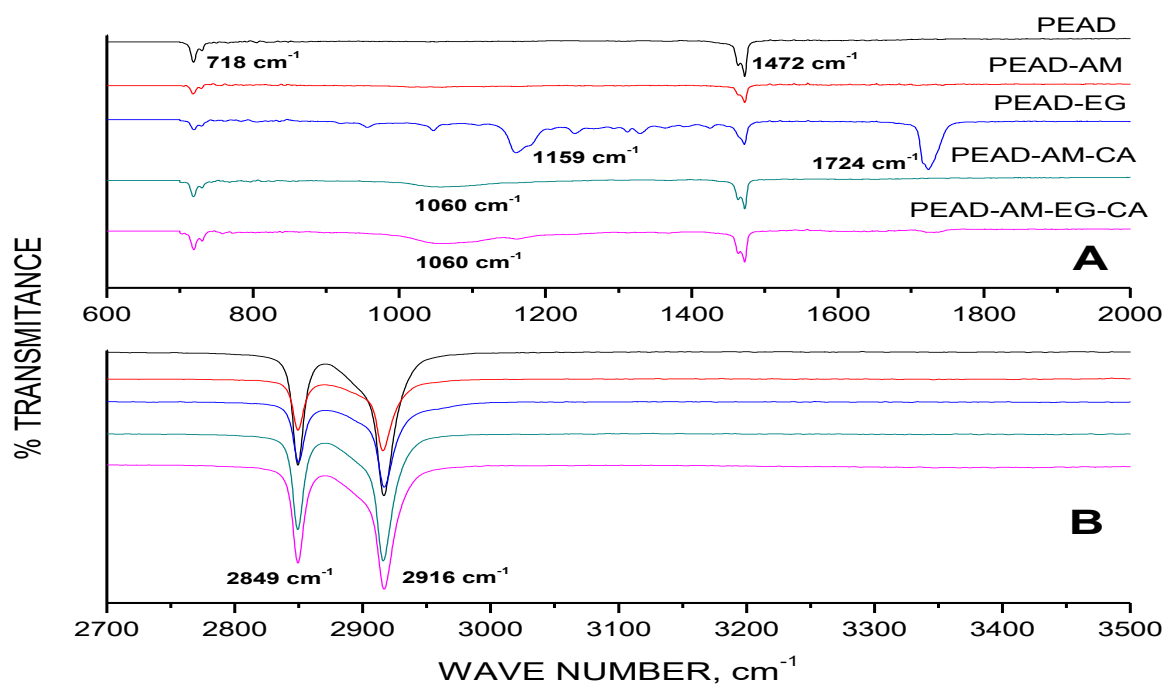
Além disso, cada microfibrila pode ser considerada um feixe de microfibrilas devido à ligação de grupos hidroxila presentes na região amorfa da cadeia de celulose (ROSA et al., 2010). Essa ligação ocorre através da reação de abertura do anel do anidrido maleico enxertado na base do PE com as hidroxilas da celulose da casca de arroz (Figura 2), formando ligações de hidrogênio (TONG et al., 2014). Esta reação favorece uma melhor adesão da casca de arroz à matriz polimérica.

Figura 2. Reação de interação do polietileno de alta densidade enxertado com anidrido maleico (PEAD-g-AM) e a micropartícula de casca de arroz.



Os espectros de FTIR de todos os compósitos são apresentados na Figura 3.

Figura 3. Espectros de FTIR-ATR de todas as composições: A) de 600 a 2000 cm^{-1} e B) de 2700 a 3500 cm^{-1} .

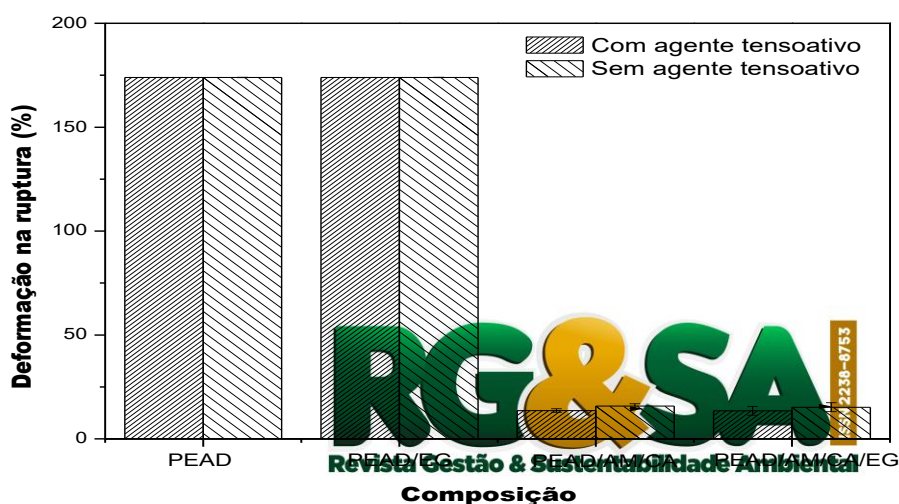


O PEAD apresenta as bandas características do grupo C-H: $\nu_{\text{C-H}}$ simétrico e assimétrico em 2916 e 2849 cm^{-1} , $\nu_{\text{C-H}}$ em 1472 cm^{-1} e em 718 cm^{-1} $\rho_{\text{C-H}}$. O espectro do polietileno enxertado com anidrido maleico é dominado pelo espectro do PEAD, de tal forma que não é possível visualizar a banda característica da carbonila do anidrido maleico centrada em 1730 cm^{-1} (MONTAGNA et al., 2016). Já o espectro do oxibiodegradante EG incorporado na matriz de PEAD (PEAD/EG) apresenta duas bandas centradas em 1159 cm^{-1} e 1724 cm^{-1} as quais são associadas a vibrações de deformação axial de duplas ligações de vibrações C=O de cetona (MONTAGNA et al., 2016). Essas bandas sugerem que o EG é constituído de benzoína, que é um catalisador conhecido para a oxidação de polímeros (MONTAGNA e al., 2016). Para o PEAD/AM/CA/EG é possível observar, além das bandas características do PEAD, uma faixa de 1060 cm^{-1} relacionada à deformação axial da ligação CO dos ésteres, o que confirma o modelo proposto na Figura 2. A adesão das micropartículas de casca de arroz e polietileno com a formação de ligações éster favorece as propriedades mecânicas de resistência à tração do compósito.

3.2 Caracterização mecânica

Para as propriedades mecânicas em estudo, é interessante destacar que as amostras de polietileno puro (PEAD) e de polietileno com o oxibiodegradante (PEAD/EG) não se romperam durante o ensaio de tração, por isso, foi interrompido quando se atingiu 175% de deformação. Assim, dados sobre a deformação na ruptura, tensão de escoamento e módulo de elasticidade foram obtidos sob essas condições. A Figura 4 mostra a deformação na ruptura para o PEAD puro e seus compósitos com e sem a presença do agente causador do *stress cracking* durante o ensaio de tração.

Figura 4. Deformação da ruptura de amostras com e sem agente de *stress cracking*.



Estatisticamente, observa-se que a presença do agente causador de *stress cracking* durante o ensaio de tração para amostras de PEAD/AM/CA e PEAD/AM/CA/EG não mostrou diferença significativa para a deformação na ruptura nestas condições. Isso sugere que o agente tensoativo não promoveu nenhuma alteração nessas composições para essa propriedade mecânica.

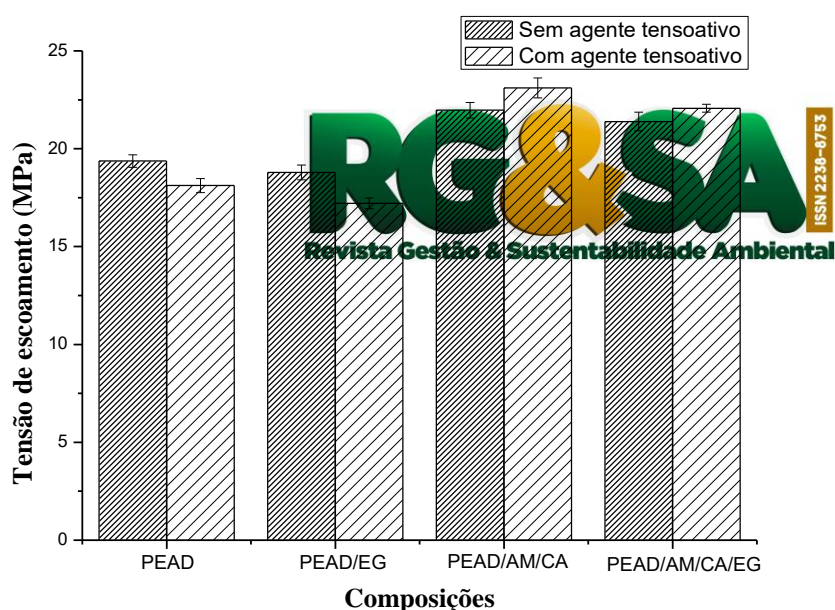
Os compósitos não se romperam a uma deformação de ruptura menor na presença do agente de ESC, devido a boa adesão entre a matriz polimérica e a fibra lignocelulósica, como visto nas micrografias de MEV (Figura 1), indicando que o agente causador de *stress cracking* não agiu como um agente enfraquecedor das forças coesivas interlamelares das cadeias, resultando no rompimento das moléculas de ligação, causando a falha ou quebra das amostras (MAJID; ELGHORBA, 2017).

Além disso, é possível que a ação do agente de cracking tenha sido restrita apenas às camadas mais superficiais dos compósitos (GULMINE; AKCELRUD, 2006). As microfissuras provavelmente não atingiram nível crítico de tensão suficiente para

sua propagação e, conseqüentemente, o desenvolvimento de fissuras para causar falhas (MAJID; ELGHORBA, 2017; WEE et al., 2015). A ação do agente de *stress cracking* foi inibida pela compatibilidade física e química da casca de arroz com o polietileno, não implicando na impregnação do polímero pelo agente no sentido de diminuir as forças coesivas que mantêm as moléculas e, assim, não há a desintegração e ruptura das lamelas com o surgimento da fratura no compósito.

Na Figura 5, observa-se que existe uma diferença estatística significativa entre os compósitos com e sem o agente de *stress cracking* para as amostras PEAD, PEAD/EG e PEAD/AM/CA. Entretanto, a tensão de escoamento foi maior para a composição de PEAD/AM/CA quando submetida à ação do agente causador de ESC.

Figura 5. Tensão de escoamento de compósitos com e sem agente de craqueamento sob tensão.



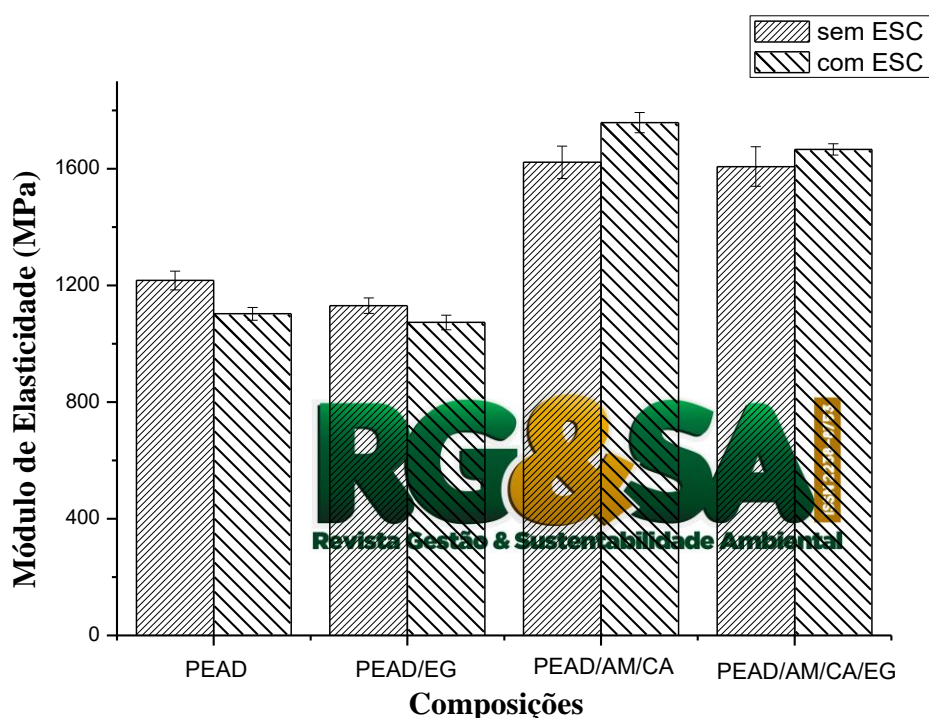
As amostras que apresentam casca de arroz em sua composição (PEAD/AM/CA e PEAD/AM/CA/EG) apresentaram maior tensão de escoamento quando submetidas ao agente causador de *stress cracking*, o que pode ser explicado pelo fato de o agente tensoativo agir após o escoamento do material.

Além disso, o aumento na tensão de escoamento dos compósitos, quando ensaiados sob ação do agente tensoativo, pode estar relacionado ao fato de que ao penetrar na região amorfa, inicia o processo de plastificação das cadeias, favorecendo um aumento no escoamento plástico, como relatado por alguns autores (HANSEN,

2002; TURNBULL, 2000; MAXWELL; PILLAI, 2000). Assim, o agente causador do *stress cracking* age penetrando na região amorfa do polímero, favorecendo o surgimento de microfissuras originadas da fratura em tensões muito abaixo da tensão do fluxo de material (ROBESON, 2013; WEE et al., 2015).

O módulo de elasticidade para estes compósitos foi estudado durante o teste de tração com e sem *stress cracking* (ESC), como mostrado na Figura 6.

Figura 6. Módulo de elasticidade de compósitos sem e com agente de tensão de craqueamento.



Verificou-se que existe uma diferença estatística significativa com e sem o agente causador de *stress cracking* apenas para a amostra de PEAD/AM/CA. É interessante notar que a incorporação das partículas de CA favoreceu um aumento significativo do módulo de elasticidade em relação ao PEAD puro. Tal fato pode ter ocorrido porque a casca de arroz possui maior rigidez quando comparada à matriz polimérica (ARRAKHIZ et al., 2013;). Verifica-se que a partícula de casca de arroz não influencia diretamente a resistência do compósito ao ESC, mas há influência nas propriedades mecânicas, interferindo na ductilidade do material. Por fim, o aditivo oxibiodegradante orgânico não influenciou os parâmetros dos ensaios mecânicos de tração para os compósitos, mesmo submetidos ao agente causador de *stress cracking*, permanecendo em variação de até 10% (BENÍTEZ et al., 2013).

4 CONCLUSÕES

A inserção das partículas de casca de arroz e sua boa adesão com a matriz polimérica dificultaram a mobilidade das cadeias devido à formação de microfibrilas entre a fibra natural e o polietileno de alta densidade. Pode-se concluir que o compósito composto por partículas de casca de arroz e aditivo oxibiodegradante orgânico (PEAD/AM/CA/EG) apresentou resultados satisfatórios, uma vez que o aditivo não influenciou as propriedades mecânicas estudadas com e sem o agente causador do ESC (surfactante polyoxietileno (23) lauril éter), sendo uma alternativa interessante para a produção de embalagens biodegradáveis de detergente, xampu, sabonete, dentre outros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao professor Gustavo Brito (DCEM/UFS) pelo auxílio nas imagens do MEV e ao SENAI/CIMATEC (Salvador/BA) pela confecção dos compósitos.



REFERÊNCIAS

- ALBERTI, L. D.; SOUZA, O. F.; BUCCI, D. Z.; BARCELLOS, I. O. Study on physical and mechanical properties of PHB biocomposites with rice hull ash. **Materials Science Forum**. 776, 557-561, 2014.
- ARJMANDI, R.; HASSAN, A.; MAJEED, K.; ZAKARIA, Z. Rice Husk Filled Polymer Composites. **Int. J. Polym. Sci.** p. 1-32, 2015.
- ARRAKHIZ, F. Z.; EL ACHABY, M.; MALHA, M.; BENSALAH, M. O.; FASSI-FEHRI, O.; BOUHIFID, R. Mechanical and thermal properties of natural fibers reinforced polymer composites: Doum/low density polyethylene. **Materials & Design**. v. 43, p. 200-205, 2013.
- BENÍTEZ, A.; SÁNCHEZ, J. J.; ARNAL, M. L.; MÜLLER, A. J. Monitoring abiotic degradation of branched polyethylenes formulated with pro-oxidants through different mechanical tests. **Polymer Degradation and Stability**. v. 98, p. 1705-1716, 2013.
- BILAL, A.; LIN, R. J. T.; JAYARAMAN, K.; ZHANG, C. Evaluation of Mechanical Properties on Rice Husk and Expanded Rice Husk Filled Polyethylene Composites.

International Journal of the Institute of Materials Malaysia, v. 1, n. 2, p. 165-170, 2014.

BRASKEM. Extrusão de filme: polietileno e polipropileno. **Catálogo técnico**, 2008.

BRODHAGEN, M., GOLDBERGER, J. R., HAYES, D. G., et al. Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils. **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 81–84, 2017.

CARDOSO, M. N.; FISCH, A. G. Bimodal High-Density Polyethylene: Influence of the Stereoregularity of the Copolymer Fraction on the Environmental Stress Crack Resistance. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 55, n. 22, p. 6405–6412, 2016.

GHANBARI-SIAHKALI, A.; KINGSSHOTT, P.; BREIBY, D. W.; ARLETH, L.; KJELLANDER, C. K.; ALMDAL, K. Investigating the role of anionic surfactant and Polymer morphology on the environmental stress cracking (ESC) of high-density polyethylene. **Polymer Degradation and Stability**, v. 89, p. 442-453, 2005.

GULMINE, J. V.; AKCELRUD, L. Correlations between structure and accelerated artificial ageing of XLPE. **European Polymer Journal**, v. 42, p. 553-562, 2006.

HANSEN, C. M. On predicting environmental stress cracking in polymers. **Polym. Degrad. Stab.**, v. 77, p. 43-53, 2002.

IBRAHIM, M. M.; DUFRESNE, A.; EL-ZAWAWY, W. K.; AGBLEVOR, F. A. Banana fibers and microfibrils as lignocellulosic reinforcements in polymer composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 4, p. 811–819, 2010.

MAJEED, K.; HASSAN, A.; BAKAR, A. A. Influence of maleic anhydride-grafted polyethylene compatibiliser on the tensile, oxygen barrier and thermal properties of rice husk and nanoclay-filled low-density polyethylene composite film. **Journal of Plastic Film and Sheeting**, v. 30, n. 2, p. 120-140, 2014.

MONTAGNA, L. S.; FORTE, M. M. DE C.; SANTANA, R. M. C. Study on the accelerated biodegradation of PP modified with an organic pro-degradant additive. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 22, p. 1-28, 2014.

MONTAGNA, L. S.; CATTO, A. L.; FORTE, M. M. C.; SANTANA, R. M. C. Biodegradation of PP films modified with organic pro-degradant: Natural ageing and biodegradation in soil in respirometric test. **Polyolefins Journal**, v. 3, n. 1, p. 59-68, 2016.

MORANDIM-GIANNETTI, A. A.; AGNELLI, J. A. M.; LANÇAS, B. Z.; MAGNABOSCO, R.; CASARIN, S. A.; BETTINI, S. H. P. Lignin as additive in polypropylene/coir composites: Thermal, mechanical and morphological properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, p. 2563-2568, 2012.

MULINARI, D. R.; VOORWALD, H. J. C.; CIOFFI, M. O. H.; DA SILVA, M. L. C. P.; LUZ, S. M. Preparation and properties of HDPE/sugarcane bagasse cellulose composites obtained for thermokinetic mixer. **Carbohydrate Polymers**, v. 75, n. 2, p. 317–321, 2009.

ORTIZ, A. V.; TEIXEIRA, J. G.; GOMES, M. G.; OLIVEIRA, R. R.; DÍAZ, F. R. V.; MOURA, E. A. B. Preparation and characterization of electron-beam treated HDPE composites reinforced with rice husk ash and Brazilian clay. **Applied surface science**, v. 310, p. 3331-3335, 2014.

PAN, Y.; GAO, X.; WANG, Z.; LEI, J.; LI, Z.; SHEN, K. Effect of different morphologies on slow crack growth of high-density polyethylene. **RSC Advances**, v. 5, n. 36, p. 28191–28202, 2015.

PANDEY, P.; BAJWA, S. G.; BAJWA, D. S.; ENGLUND, K. Performance of UV weathered HDPE composites containing hull fiber from DDGS and corn grain. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 409–419, 2017.

PETTARIN, V.; CHURRUÇA, M. J.; FELHÖS, D.; KARGER-KOCSIS, J.; FRONTINI, J. M. M. Changes in tribological performance of high molecular weight high density polyethylene induced by the addition of molybdenum disulphide particles. **Wear**, v. 2, n. 69, p. 31–45, 2010.

ROBESON, L. M. Environmental stress cracking: A review. **Polymer Engineering & Science**, v. 3, n. 53, p. 453-467, 2013.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONGE, J. A.; GREGORSKI, K. S.; WOOD, D. F.; MATTOSO, L. H. C. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: Effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 1, p. 83-92, 2010.

SAMAL, S. K.; FERNANDES, E. G.; CORTI, A.; CHIELLINI, E. Bio-based Polyethylene–Lignin Composites Containing a Pro-oxidant/Pro-degradant Additive: Preparation and Characterization. **J Polym Environ.**, v. 22, n. 1, p. 58-68, 2014.

TONG, J. Y.; ROYAN, N. R. R.; N., Y. C.; YONG, C. N.; GHANI, M. H. A.; AHMAD, S. Study of the Mechanical and Morphology Properties of Recycled HDPE Composite Using Rice Husk Filler. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 1, p. 1-7, 2014.

TURNBULL, A. S.; MAXWELL, S.; PILLAI, A. Comparative assessment of slow strain rate, 4-pt bend and constant load test methods for measuring environment stress cracking of polymers. **Polymer Testing**, v. 19, n. 2, p. 117-129, 2000.

VOX, G., LOISI, R.V., BLANCO, I., et al. Mapping of Agriculture Plastic Wastell, **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 8, p. 583–591,2016.

WANG, W.; YANG, X.; BU, F.; SIU, S. Properties of rice husk-HDPE composites after exposure to thermo-treatment. **Polymer Composites**, v. 35, n. 11, p. 2180–2186, 2014.

WEE, J. W.; ZHAO, Y.; CHOI, B. H. Observation and modeling of environmental stress cracking behaviors of high crystalline polypropylene due to scent oils. **Polymer testing**, v. 48, p. 206-214, 2015.

Zuhaira, A. A. N.; Rahmah, M. Effect of calcium carbonate on thermal properties of Caco3/kenaf/HDPE and Caco3/rice husk/HDPE composites. **Advanced Materials Research**, v. 812, p. 175-180, 2013a.

ZUHAIIRA, A. A. N.; RAHMAH, M. Effects of calcium carbonate on melt flow and mechanical properties of rice husk/HDPE and Kenaf/HDPE Hybrid Composites. **Advanced Materials Research**, v. 795, p. 286-272, 2013b.

