

INVESTIGAÇÃO DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE RESINA EPÓXI MODIFICADA COM CARDANOL*

Claudio Marlon Gomes da Hora¹
Darcy Lucas da Rocha Oliveira²
David Coverdale Rangel Velasco³
Felipe Perissé Duarte Lopes⁴
Carlos Maurício Fontes Vieira⁵
Sergio Neves Monteiro⁶

Resumo

A exploração de matérias-primas consideradas verdes, vem se tornando cada vez mais forte atraindo a atenção de acadêmicos, indústrias e de outros profissionais. O Cardanol é um subproduto da produção de castanha de caju, extraído do líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC). Por ter característica multifuncionais, composto por um anel fenólico, uma hidroxila livre e uma extensa cauda de cadeia carbônica; essa composição pode dar um ganho em adesão em superfícies metálicas, quando transformadas em resinas fenólicas ou epóxi/fenólicas. O objetivo deste trabalho foi analisar a resistência à compressão de um sistema epóxi comum e barato, DGEBA/DETA com adições de cardanol em quantidade de 10, 20 e 30% em peso de forma direta apenas com mistura mecânica em temperatura ambiente. Como resultado pode-se observar uma queda na resistência à compressão do material de acordo com que é adicionado o cardanol de até 52%, mas aumentou a flexibilidade da resina em 42%, devido ao cardanol bloquear as ligações inter cruzadas das resinas epóxi para enrijecer o sistema.

Palavras-chave: cardanol; epóxi; polímeros; LCC; resistência à compressão.

INVESTIGATION OF COMPRESSION RESISTANCE OF EPOXY RESIN MODIFIED WITH CARDANOL

Abstract

The exploitation of raw materials considered green is becoming increasingly strong, attracting the attention of academics, industries and other professionals. Cardanol is a by-product of cashew nut production, extracted from Cashew Nut Shell Liquid (LCC). Because it has multifunctional characteristics, composed of a phenolic ring, a free hydroxyl and an extensive carbon chain tail; this composition can give a gain in adhesion to metallic surfaces, when transformed into phenolic or epoxy/phenolic resins. The objective of this work was to analyze the compressive strength of a common and cheap epoxy system, DGEBA/DETA with additions of cardanol in amounts of 10, 20 and 30% by weight directly with mechanical mixing only at room temperature. As a result, a drop in the compressive strength of the material according to which cardanol is added of up to 52% can be observed, but increased resin flexibility by 42% due to the cardanol blocking the crosslinks of the epoxy resins to stiffen the system.

Keywords: Cardanol; CNSL, Polymers, Epoxy.

¹ Bacharelado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Ciência dos Materiais, Laboratório de Materiais LAMAV, Universidade Estadual do Norte Fluminense UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

² Bacharelado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

³ Engenheiro Mecânico, Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais, Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

- ⁴ Engenheiro Metalúrgico e de Materiais, Doutor em Ciências dos Materiais, Pós-Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ⁵ Engenheiro Mecânico, Doutor em Ciências dos Materiais, Professor Titular, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.
- ⁶ Engenheiro Metalúrgico, Doutor em Engenharia e Ciências dos Materiais, Professor Visitante, LAMAV, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje cada vez mais se tem uma maior preocupação com as questões ambientais, sendo buscado dia após dia alternativas que agridam cada vez menos o meio ambiente e que ao mesmo tempo seja viável financeiramente [1, 2, 3]. Com isso a utilização de materiais naturais no lugar de materiais sintéticos vem se tornando cada vez mais comum, materiais esses que podem ser cultivados com muito mais facilidade sem gerar impactos negativos ao meio ambiente ou também que pode ser reaproveitado de materiais que normalmente seriam descartados que é o caso do LCC [4, 5, 6].

No mundo se tem grandes produtores de caju, o Brasil fica na sexta posição concentrando 99% de sua produção no nordeste do país por conta das condições climáticas que favorecem o cultivo do mesmo e dos incentivos governamentais [7] buscando crescer cada vez mais esse cultivo como vem acontecendo ano após ano [8, 9]. O caju rende alguns produtos, sendo eles: o pseudofruto comumente conhecido e consumido in natura pelas pessoas, se tem também o seu componente principal que é a castanha do caju, que a partir da produção da castanha se obtém um subproduto líquido da casca (LCC) ou, como é conhecido internacionalmente, cashew nut shell liquid (CNSL) como pode-se observar na figura 1 abaixo [8].



Figura 1. Origem do LCC [8].

Esse líquido, no qual é um óleo com aparência negra e viscosa, começou a ganhar certa relevância com o crescimento da abordagem científica conhecida como química verde. O que era pra ser um problema da produção da castanha de caju por não poder ser descartado na natureza, acaba virando motor da curiosidade científica para a descoberta de várias aplicações do líquido que por sua composição única na natureza contendo grande concentração de fenóis vem ganhando cada vez mais força nas pesquisas [3, 9, 10].

O LCC representa aproximadamente 25% do peso da castanha e é considerado um subproduto de agronegócio do caju, com pouco valor agregado. Do ponto de vista químico, é uma fonte natural de compostos fenólicos de cadeia longa e insaturada. Existem dois tipos de LCC o chamado de LCC natural e o LCC técnico mostrado na Figura 2, o que difere no qual LCC teremos é a forma com que ele é produzido sendo O LCC técnico (produzido na indústria por descarboxilação térmica) contém principalmente cardanol (75-85%), cardol (15-20%) e traços de metilcardol. O extraído por solvente, o LCC natural, contém ácido anacárdico (60-65%), cardol (15-20%), cardanol (10%), e traços de metilcardol [11, 12, 13].

As resinas epóxi por si só apresentam boas propriedades de termomecânica, resistência química, isolamento elétrico e adesividade, sendo os materiais de maior

relevância pra indústria por base principalmente d éter diglicílico do bisfenol A (DGEBA). [14, 15, 16]. Um lado negativo do uso desse tipo de resina é o fato de poderem gerar problemas ambientais e para saúde humana por conta disso a substituição ou adição por partes de fontes consideradas verdes é uma ótima alternativa. [17]

Neste estudo foram desenvolvidos corpos de prova substituindo parcialmente a resina epóxi (DGEBA/DETA) no qual é uma resina sintética, proveniente do petróleo pelo LCC de origem natural do caju em até 30% em peso por cardanol, e avaliada a sua resistência a compressão o sistema curado.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para ser realizado este trabalho foi utilizado uma combinação entre o sistema bicomponente composto pela resina Bisphenol A diglycidyl ether (DGEBA) e endurecedor dietileno-tetramina (DETA), sistema esse que é comercializado pela empresa Avipol sob o nome SQ 2050/SQ 3131, e também se foi o utilizado o líquido da castanha do caju (LCC).

A partir desses materiais foram feitos corpos de prova de quatro composições diferentes alterando apenas a porcentagem de LCC em relação ao volume de resina epóxi pura, as composições foram: 0% (resina epóxi pura); 10%; 20%; e 30%; Figura 2.

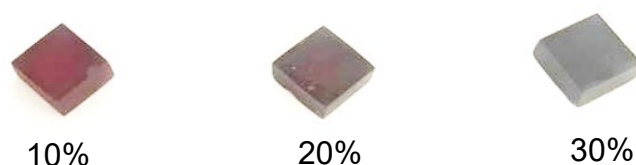


Figura 2. Corpos de prova de compressão com 10%; 20% e 30% de LCC respectivamente.

Todos os corpos de prova foram confeccionados em matriz feita de silicone aberta em temperatura ambiente, com cura total de 5 dias conforme orientação do fabricante da resina. Pós confecções os corpos de prova foram lixados e preparados para o ensaio de compressão, os corpos de prova tinham as dimensões em média 12.7 x 12.7 x 3.2 mm, ensaio este que foi realizado no Laboratório de Materiais Avançados (LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UNEF), na máquina universal de ensaios da INSTRON, modelo 5582, Figura 3, seguindo as normas da ASTM D695 [18] com velocidade do ensaio de 1,3 mm/min.

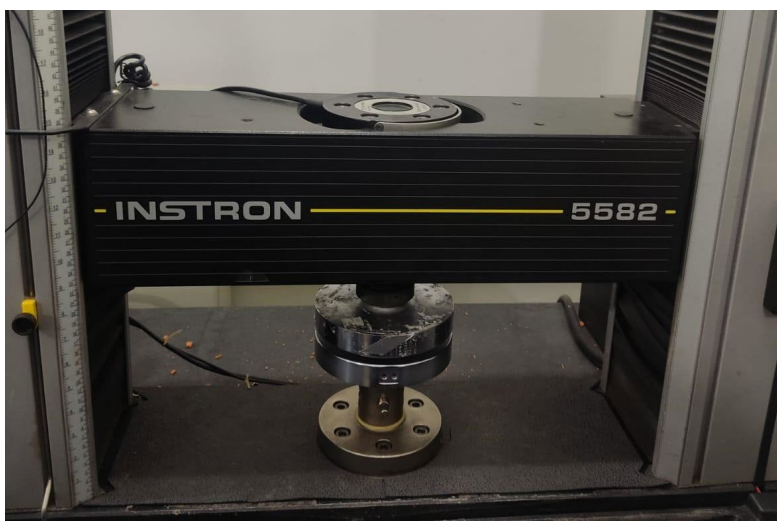


Figura 3. Máquina universal de ensaios INSTRON 5582

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1, resultados dos ensaios feitos nos materiais em análise neste trabalho, por meio do Limite de Resistência à Compressão (LRC) e do Módulo de Elasticidade (ME).

Tabela 1. Propriedades da resina pura e com adição do LCC

Material	LRC (MPa)	ME (MPa)
0%	90,3 ± 3,05	2141 ± 99
10%	77,4 ± 7,01	1537 ± 342,24
20%	58,7 ± 5,79	969 ± 354,56
30%	43,6 ± 0,79	880 ± 88,59

Com base nestes valores, construíram-se os gráficos de variação da resistência à compressão e módulo de elasticidade dos compósitos em função da fração em peso de cardanol, como mostrado na Figura 4 e Figura 5.

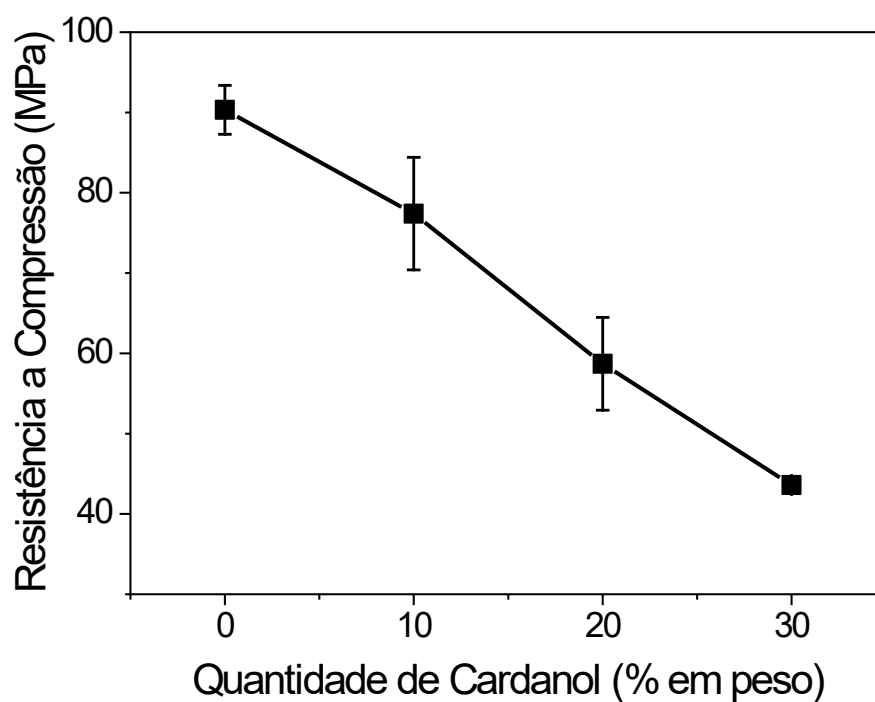


Figura 4. Gráfico de resistência a compressão.

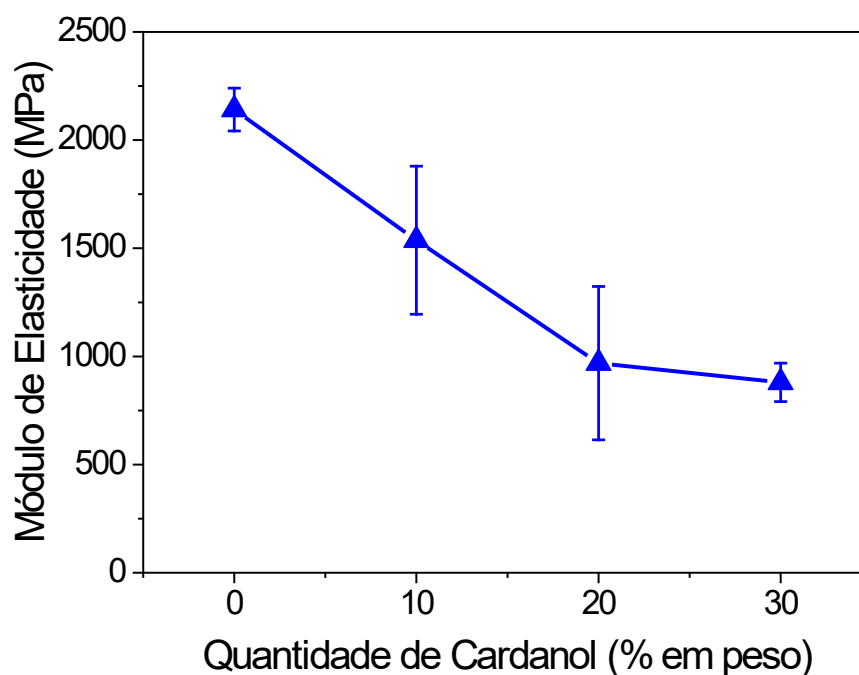


Figura 5. Gráfico do módulo de elasticidade

Observa-se, como esperado, um decréscimo tanto no limite de resistência a compressão quanto no módulo de elasticidade de acordo com o aumento do volume de cardanol que se é adicionado a composição.

Isso é explicado por conta do cardanol impedir que as cadeias da resina epóxi formem as ligações cruzadas necessárias para enrijecer e dar resistência mecânica ao sistema epóxi curado, com isso quanto mais cardanol colocar, menos ligações

terá e a resistência cairá com o aumento de cardanol tornando assim o material mais macio e menos resistente mecanicamente. [20-21]

Uma proposta para a continuação das pesquisas é usar o cardanol como também um catalisador da reação, servindo como mais um agente de interligação das cadeias de DGEBA.

3 CONCLUSÃO

Os objetivos propostos neste trabalho foram alcançados de forma satisfatória. Os resultados dos ensaios do composto de epóxi com o cardanol foram dentro do esperado, indicando boas propriedades mecânicas quando comparados a resina epóxi pura, e mesmo com a diminuição na resistência à compressão com o aumento de incorporação do cardanol, pôde-se ainda assim manter um bom desempenho do material.

Dessa forma fica demonstrado que é totalmente possível a substituição de parte da resina epóxi (DGEBA), resina essa que é sintética de uma fonte não renovável (petróleo) pelo cardanol, isso colabora diretamente com aspectos sociais, ambientais e econômicos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, a FAPERJ através do projeto Ref. Proc. n.º 204.766/2022

REFERÊNCIAS

1. Brito MR, Marvila MT, Linhares JAT, Azevedo ARG de. Evaluation of the Properties of Adobe Blocks with Clay and Manure. *Buildings*. 2023: 1-10
2. Linhares JAT, Velasco DCR, Filho HLS, Sousa SJG, Vieira CMF. Study on the use of dissipated heat in air conditioners for heating water for the bath. *Brazilian Applied Science Review*. 2021: 1-14
3. Gandhi TS, Patel MR, Dholakiya BZ. Synthesis and characterization of different types of epoxide-based Mannich polyols from low-cost cashew nut shell liquid. *Res Chem Intermed* 40: 1223–1232
4. Velasco DCR, Lopes FPD, Simonassi NT, Vieira CMF. Influence of the incorporation of waste on the water vapor permeability of epoxide matrix composites. *Brazilian Applied Science Review*. 2022: 1-11
5. Al-Oqla FM, Hayajneh MT, Fares O. Investigating the mechanical thermal and polymer interfacial characteristics of Jordanian lignocellulosic fibers to demonstrate their capabilities for sustainable green materials. *Journal of Cleaner Production*. 2019; 241 (118256): 1-10.
6. Velasco DCR, Lopes FPD, Souza D, Lopera HAC, Monteiro SN, Vieira CMF. Evaluation of Composites Reinforced by Processed and Unprocessed Coconut Husk Powder. *Polymers* 2023: 1-10
7. Brainer MSCP, Cajucultura. Caderno Setorial ETENE, banco nordeste. 2022: 1-3
8. Balgude D, Sabnis AS. CNSL: an environment friendly alternative for the modern coating industry. *American Coatings Association & Oil and Colour Chemists' Association* 2013: 169-170

9. GROSTAT Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Indicadores Gerais Agrostat. Disponível em: <http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>. Acesso em: 05 abr. 2023.
10. Mothé CG, Vieira CR, Mothé MG. Thermal and surface study of phenolic resin from cashew nut shell liquid cured by plasma treatment. *J Therm Anal Calorim* **114**. 2013: 821–826
11. Lubi MC, Tachil ET. Cashew nut shell liquid (CNSL) - a versatile monomer for polymer synthesis, 2012: 123-153
12. Carioca JOB, Vasconcelos GFC Abreu RFA, Monteiro CTF. Processo de purificação do líquido da castanha do caju (LCC) para isolamento do cardanol. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005: 1-44
13. Sanches L, Eyng C, Garcia R, Alves G, Sangalli G, Nunes R. Technical Cashew Nutshell Liquid in Diets of Growing Meat-Type Quails. *Braz J Poult Sci*. 2019;21(1):eRBCA-2019-0823
14. Kumar S, Krishnan S, Mohanty S, Nayak SK. Synthesis and characterization of petroleum and biobased epoxy resins: a review. *Polym. Int.*, 67 (7) (2018), pp. 815-839,
15. Roudsari GM, Mohanty AK, M. Misra. Green approaches to engineer tough biobased epoxies: A review. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 5 (11) (2017), pp. 9528-9541,
16. Pabel MM, Agudo JAR, Gude M, Measuring and understanding cure-dependent viscoelastic properties of epoxy resin: A review. *Polymer Testing* 14. 2022: 1-9
17. Zhu F, Fu Q, Yu M, Zhou J, Li N, Wang F. Synthesis and curing properties of multifunctional castor oil-based epoxy resin. *Polymer Testing* 122, 2023: 1-14
18. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics. D 695, 2015.Resultado
19. Dineshkumar J, Jesudas T. Hybrid polymer matrix development using cashew nut shell liquid as an additive into epoxy resin, *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 2023: 380-388
20. Srinivasan R, Rajaravi C, Subbaiya P, Karthik S. Experimental Characterization of CNSL-Epoxy Resin Reinforce Natural Fiber. 2022: 978-981