

RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DE COMPÓSITO DE MATRIZ EPÓXI REFORÇADOS COM FIBRAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇUCAR*

Miriane Alexandrino Pinheiro¹
Lanna Hannah de Sousa Gomes²
Sérgio Neves Monteiro³
Alisson Clay Rios da Silva⁴
Verônica Scarpini Candido⁵

Resumo

O objetivo do presente estudo, foi analisar a resistência à flexão estática de um compósito polimérico reforçado por fibras naturais. Foram produzidos compósitos com fibras de bagaço de cana-de-açúcar alinhadas longitudinalmente em matriz epóxi, curados por aproximadamente 24 horas a temperatura ambiente e posteriormente, 2 horas em estufa a 100°C. Esses corpos de provas foram submetidos a ensaios de flexão estática utilizando a técnica de flexão em 3 pontos, e posteriormente análise microestrutural da região de fratura em microscópio eletrônico de varredura. Os resultados do ensaio de resistência à flexão mostraram que houve um aumento no valor da resistência em incorporações de 10 e 30% em volume de fibra quando comparado com a resina epóxi, enquanto a adição de 20% não provocou uma variação significativa. A análise microestrutural da região de fratura do corpo de prova, revelou que tanto a resina quanto os compósitos apresentam fratura frágil, sendo indicado pela presença de marcas de rio, observa-se locais em que fibras foram arrancadas da matriz, indicando baixa adesão na interface fibra/matriz.

Palavras-chave: Compósito polimérico; Resistência à flexão; Cana-de-açúcar.

RESISTANCE TO STATIC FLEXION OF EPOXY MATRIX COMPOSITE REINFORCED WITH SUGARCANE BAGASSE FIBERS

Abstract

The objective of the present study was to analyze the static flexural strength of a natural fiber reinforced polymer composite. Composites were produced with sugarcane bagasse fibers aligned longitudinally in epoxy matrix, cured for approximately 24 hours at room temperature and subsequently, 2 hours in an oven at 100°C. These test bodies were submitted to static bending tests using the 3-point bending technique, and then microstructural analysis of the fracture region under a scanning electron microscope. The results of the flexural strength test showed that there was an increase in the strength value in incorporations of 10 and 30% by volume of fiber when compared to the epoxy resin, while the addition of 20% did not cause a significant variation. The microstructural analysis of the fracture region of the test specimen revealed that both the resin and the composites had a fragile fracture. It was indicated by the presence of river marks. Locations were observed where fibers were removed from the matrix, indicating low adhesion at the interface fiber / matrix.

Keywords: Polymer composite; Flexural strength; Sugar cane.

¹ Mestranda em Engenharia de Processos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém, Pará, Brasil.

- ² *Graduanda de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil.*
- ³ *Graduação em Engenharia Metalúrgica, Doutor em Materials Science and Engineering, Professor Titular do Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia Mecânica e de Materiais, Rio de Janeiro-Rj, Brasil.*
- ⁴ *Graduação em Química Industrial, Doutor em Ciência dos Materiais, Conselho Superior de Ensino e Pesquisa, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil.*
- ⁵ *Graduação em Ciências Biológicas, Doutora em ciência dos Materiais, Coordenadora de Pesquisa, Faculdade de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua-Pa, Brasil..*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, tem crescido a busca por novos materiais que associem boas características tecnológicas, ambientais e sociais. Os compósitos são exemplos desses novos materiais, pois são materiais multifásicos que tem como principais características a combinação das principais propriedades de suas fases constituintes [1]. Geralmente, os compósitos são formados por duas fases, a fase matriz e a fase de reforço [2]. A matriz é a fase contínua, e tem função de proteger, dar forma e transferir as cargas aplicadas na superfície do compósito para a fase de reforço. Esta fase, também chamada de fase dispersa, influencia diretamente nas propriedades finais do compósito produzido, pois dependem diretamente da forma, tamanho, distribuição e orientação do reforço na matriz [1,3].

Os compósitos são divididos em três principais grupos: reforçados por partículas, por fibras e compósitos estruturais. Neste trabalho, utilizou-se os compósitos reforçados por fibra, por possuem um elevado potencial mecânico [1,2]. **A matriz utilizada no presente estudo, foi a resina epóxi, pois é** um polímero termofixo muito utilizado na indústria devido suas excelentes propriedades adesivas, mecânicas, térmicas, elétricas, além de possuir baixo custo. E para a fase de reforço foram utilizadas fibras naturais, estas fibras têm uma grande importância ambiental, pois são biodegradáveis, e encontradas em abundância na natureza, e com baixo custo[1,3].

Um exemplo de fibra natural que pode ser utilizada para essa finalidade é a fibra de bagaço de cana-de-açúcar. A utilização desta fibra para confecção de compósitos poliméricos apresenta vantagens comuns às outras fibras naturais. A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é uma planta encontrada em abundância nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil, e é utilizada como matéria-prima nas agroindústrias para obtenção do açúcar e do álcool [4,5]. O bagaço da cana-de-açúcar é o resíduo gerado por essas indústrias e que geralmente não possui uma destinação ambientalmente corretada, pois são incinerados ou descartados em locais inapropriados, contribuindo para o aumento da poluição ambiental. Assim a utilização fibras de bagaço de cana como agente de reforço em matrizes poliméricas surge como uma alternativa de destinação final ambientalmente correta, além de contribuir para o meio científico e tecnológico, com a produção de um material com boas propriedades mecânicas [7,8,9].

Assim, a pesquisa apresentada aborda o estudo da análise da resistência à flexão estática de resina epóxi e de compósitos de matriz epóxi reforçados com 10,20 e 30% em volume de fibra de bagaço de cana-de-açúcar.

2 DESENVOLVIMENTO

As fibras de bagaço de cana-de-açúcar utilizadas nesse trabalho foram obtidas por meio de coleta em estabelecimentos comerciais. As resinas utilizadas como matrizes foram: epóxi do tipo éter diglicilídico do bisfenol A (DEGEBA) e como endurecedor trietileno tetramina (TETA) na proporção estequiométrica correspondente ao phr =13 (13 partes de endurecedor por 100 partes de resina);

Os corpos de prova foram fabricados utilizando-se resina epóxi e fibras de bagaço com fração volumétrica variando entre 10 e 30%.

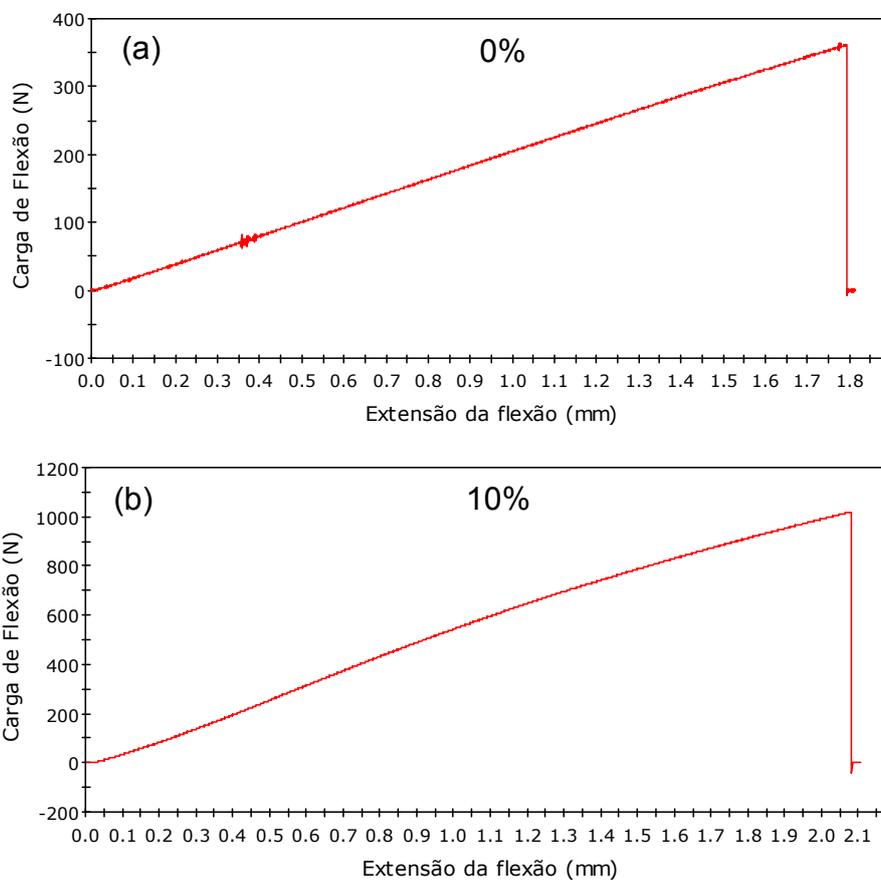
A confecção dos corpos de prova se deu em molde metálico, para tanto, a resina foi vertida sobre as fibras alinhadas longitudinalmente dispostas em moldes de

silicone. O tempo de cura foi aproximadamente 24 horas a temperatura ambiente e depois, 2 horas em estufa a 100°C. Após essa etapa, os corpos de prova foram lixados e cortados a fim de obterem as medidas solicitadas pelas normas para ensaios de flexão, ASTM D 790.

O ensaio de flexão estática foi realizado no LAMAV-UENF em máquina de ensaios universais da Instron modelo 5582 utilizando a técnica de flexão em 3 pontos com uma taxa de deformação 0,5 mm/min e uma capacidade de 100 kN seguindo a norma ASTM D 790.

Para a análise microestrutural, as fibras e compósitos foram observados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) da FEI modelo Quanta FEG – 250 no laboratório de microscopia do IME.

A figura 1 apresenta o comportamento típico das curvas de Carga *versus* Extensão para a resina epóxi e os compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra para o ensaio de flexão estática.



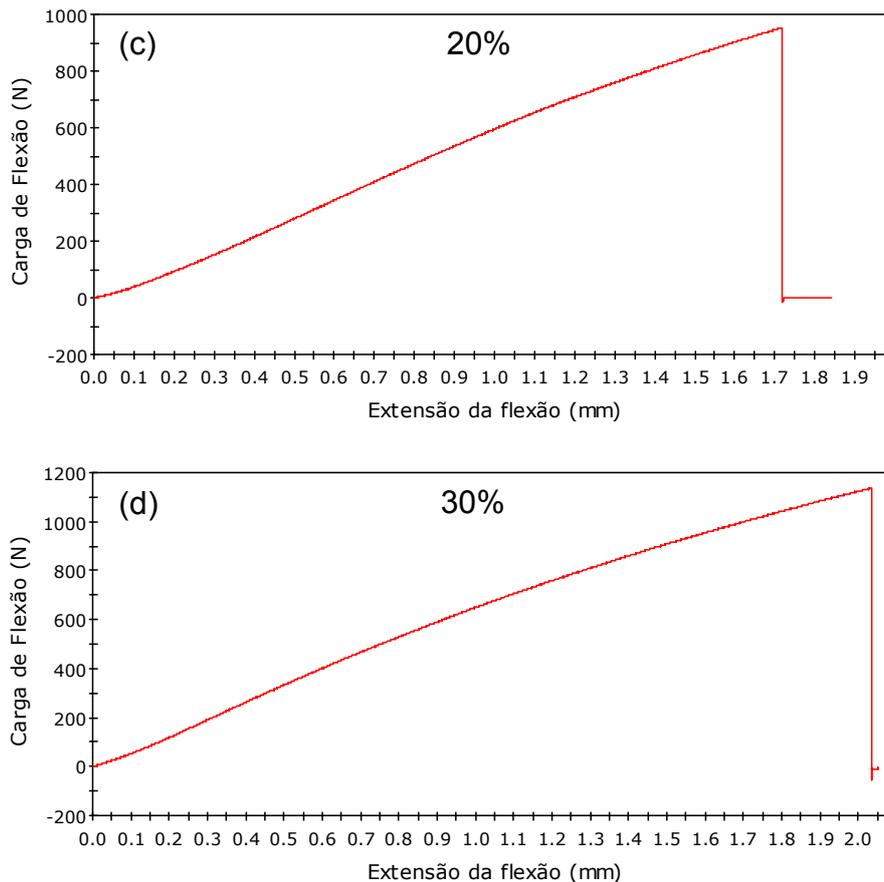


Figura 1. Curvas típicas de Carga *versus* Extensão do ensaio de flexão da resina epóxi (a) e dos compósitos com adição de 10 (b), 20 (c) e 30% (d) em volume de fibra.

O padrão apresentado tanto pela resina quanto pelos compósitos sugere uma tendência linear correspondendo ao regime elástico até a ruptura o que pode caracterizar esses materiais como frágeis. Esse comportamento indica que no ponto de máxima resistência ocorre a ruptura súbita com queda da carga aplicada.

A partir dos resultados obtidos dos gráficos Carga de flexão *versus* Extensão obteve-se os valores de resistência à flexão e o módulo de elasticidade, apresentados na tabela 1.

Tabela 1. Valores para resistência à flexão e módulo de elasticidade para a resina epóxi e os compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra

Fração em Volume das Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar (%)	Tensão Máxima em Flexão (MPa)	Módulo Máximo de Elasticidade em Flexão (GPa)
0	62,49 ± 1,54	1,23 ± 0,62
10	83,38 ± 4,10	1,63 ± 0,17
20	61,71 ± 3,89	1,78 ± 0,12
30	80,18 ± 2,20	1,84 ± 0,24

A figura 2 apresenta a resistência à flexão e o módulo de elasticidade que foram obtidos a partir das curvas do ensaio de flexão estática.

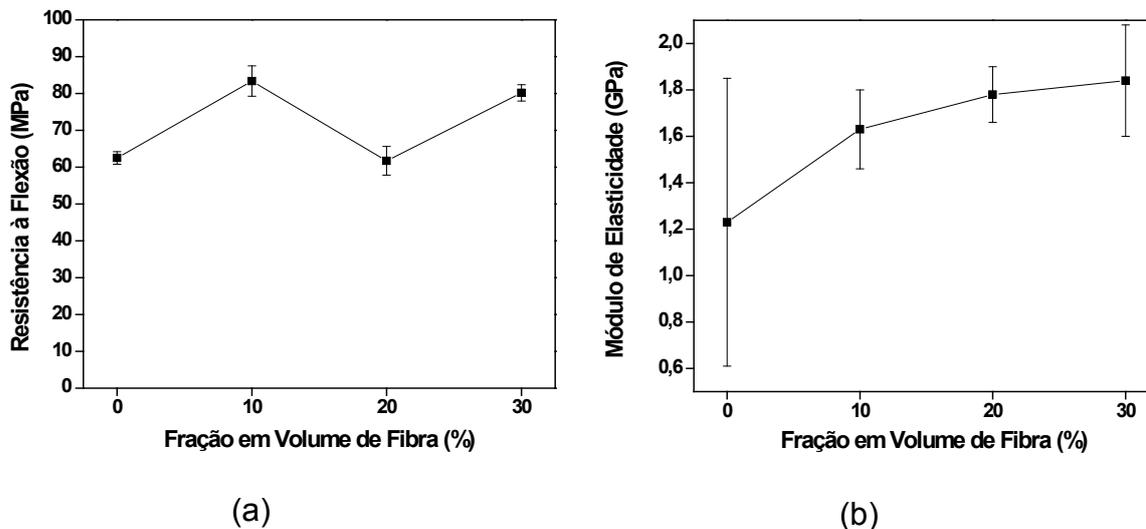


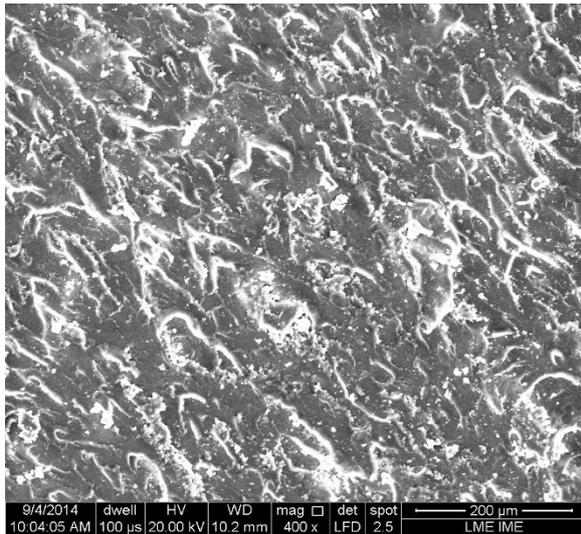
Figura 2. Resistência à flexão (a) e Módulo de Elasticidade em Flexão (b) da resina epóxi e dos compósitos epoxídicos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibra.

A análise dos resultados permite inferir que a adição de 10 e 30% em volume de fibra aumentou substancialmente a resistência à flexão do compósito quando comparado com a resina epóxi. Entretanto, dentro de uma margem de erro, a adição de 20% em volume de fibra não provocou uma variação significativa nos valores de resistência à flexão quando comparado aos alcançados pela resina epóxi. Esse baixo desempenho para o compósito com 20% em volume de fibra talvez reflita a dificuldade na fabricação do compósito.

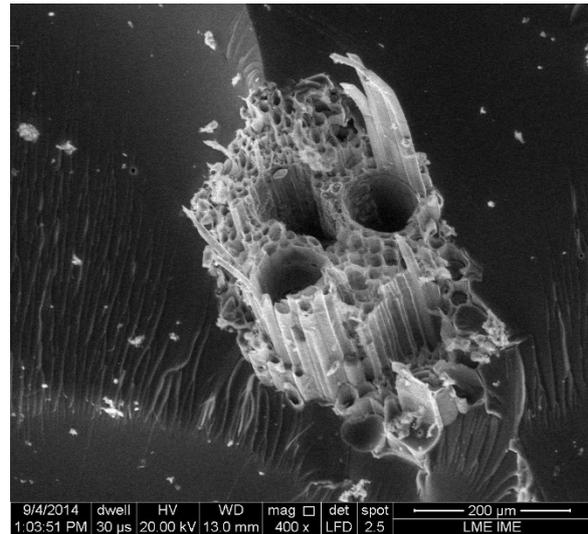
No que se refere ao módulo de elasticidade, dentro de um erro estatístico, não há uma variação significativa ao adicionar fibras a matriz. Os valores elevados das barras de erro, sobretudo para o epóxi puro, podem ser atribuídos a falhas no processamento dos corpos de prova e também a falhas durante o ensaio.

O comportamento apresentado pelos compósitos de epóxi com fibras de bagaço sugerem que, de maneira geral, a adição de 10 e 30% em volume de fibra pode melhorar tanto a resistência à flexão, quanto o módulo de elasticidade do compósito. Pelo menos como uma tendência nos resultados obtidos.

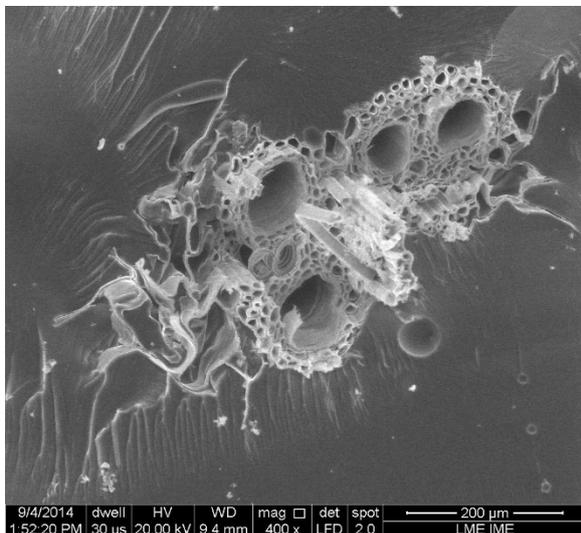
A figura 3 apresenta a micrografia da região da fratura da resina epóxi e dos compósitos com adição de 10, 20 e 30% em volume de fibras com um aumento de 400x.



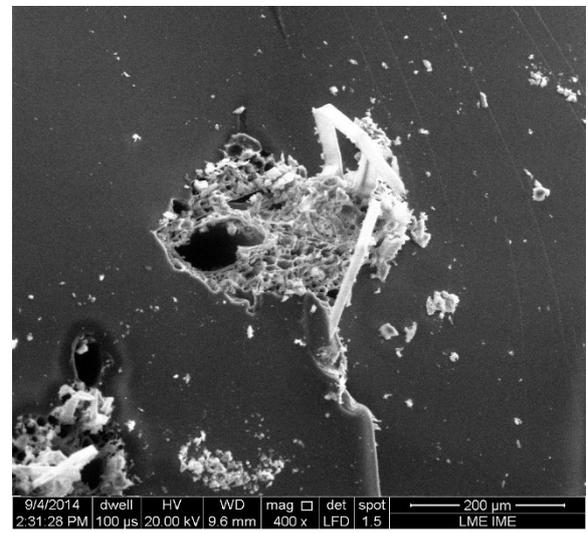
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3. Micrografia da região da fratura por flexão estática obtida por MEV da resina epóxi (a) e dos compósitos com adição de 10 (b), 20 (c) e 30% (d) em volume. 400x.

Observa-se que a resina epóxi, apresenta uma superfície irregular composta por muita rugosidade e poucas áreas lisas. Nos compósitos são notadas marcas de rio que é uma característica de propagação irregular da trinca principal ao encontrar uma fibra de bagaço.

3 CONCLUSÃO

O estudo da resistência à flexão estática de compósitos reforçados com fibra de bagaço de cana-de-açúcar mostrou que:

- A incorporação de 10 e 30% em volume de fibra provocou um reforço efetivo na matriz epóxi. Os resultados apresentados mostram que a adição de 20% em volume de fibra de bagaço não é indicada.

- Tanto a resina epóxi quanto os compósitos apresentaram fratura frágil indicada na microscopia por marcas de rio. Além disso, por algumas micrografias apresentarem regiões em que as fibras foram arrancadas da matriz, pode-se concluir que não houve uma boa adesão na interface/fibra matriz.

REFERÊNCIAS

- 1 Callister, W. D. Jr. Ciência e Tecnologia de Materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- 2 Askeland, Donald R. Ciência e engenharia dos materiais. 3. ed. São Paulo: Cengage learning, 2014.
- 3 Marinucci, Gerson. Materiais compósitos poliméricos. São Paulo: Artiliber, 2011.
- 4 UNICA – União das indústrias de cana-de-açúcar. [acesso em 01 jun. 2018]. Disponível em: www.unica.com.br. Acessado em: junho de 2018.
- 5 Candido, V.S, Monteiro, S. N. Tensile Behavior of Epoxy Composites Reinforced with Thinner Fibers of Sugarcane Bagasse. Materials Science Forum. Vol. 869, pp 221-226.
- 6 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS, D 790 – Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating. ASTM, Pennsylvania: 2007.
- 7 Ligowski E, Santos BC, Fujiwara ST. Materiais compósitos a base de fibras da cana-de-açúcar e polímeros reciclados obtidos através da técnica de extrusão. Polímeros. 2015; 2(1).
- 8 Luz S, Gonçalves AR, & Del’Arco AP Jr. Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana. Revista Matéria, 2006; 11(2), 101-110.
- 9 Marinelli AL, Monteiro MR, Ambrósio JD, Branciforti MC, Márcio Kobayashi M, Nobre AD. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. Polímeros, 2008. 18 (2).
- 10 Sanchez EMS, Cavani CS, Leal CV, Sanchez CG. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. Polímeros, 2010. 20 (3).