

CARACTERIZAÇÃO COMPÓSITOS DE PLA/FIBRA DE BAMBU

Rafael Silveira Bueno (IC) e Leila Figueiredo de Miranda (Orientadora)

Apoio: PIBIC Mackenzie CNPq

RESUMO

Atualmente o mundo enfrenta uma grande mudança ambiental e econômica, tendo aumentado o interesse em estudar a utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais naturais, sendo que o desenvolvimento destes materiais é uma realidade. Devido à variedade de espécimes de fibras existente em território nacional, tem crescido o interesse por pesquisas científicas e tecnológicas que utilizem não somente fibras tradicionais, mas outros tipos de fibra, como a do bambu (da subfamília *bambusoideae*). Por ser uma planta que produz fibras de elevada resistência mecânica, seu uso associado a outros tipos de materiais pode resultar em produto mais resistente, com baixa densidade, boa tenacidade e boas propriedades térmicas. Nesta pesquisa foi desenvolvido um compósito polimérico à base de poli (ácido láctico)-PLA contendo fibras de bambu picadas nas proporções de 0, 3, 5 e 10% p/p. O material resultante foi caracterizado por análise térmica (TG), análise mecânica, microscopias eletrônicas de varredura (MEV) e microscopia ótica. De um modo geral, as análises mostraram evidências bastante conclusivas sobre a baixa adesão interfacial entre a blenda polimérica e as fibras vegetais. Portanto, os resultados indicam que os biocompósitos formulados possam atender à necessidade de nichos específicos de mercados populares, como o de decoração, os quais não demandam alto desempenho de seus produtos, viabilizando o uso de fibras vegetais devido à redução de custo do compósito final.

Palavras-chave: Biopolímero. Poli(ácido láctico). Compósitos poliméricos. Fibras de bambu.

ABSTRACT

Currently the world faces a great environmental and economic change, having increased the interest in studying the use of polymeric composites reinforced with natural vegetable fibers, and the development of these materials is a reality. Due to the variety of fiber specimens in the national territory, there has been a growing interest in scientific and technological research that uses not only traditional fibers, but also other types of fiber, such as bamboo (from the subfamily *bambusoideae*). Because it is a plant that produces fibers of high mechanical strength, its use in combination with other types of materials can result in a more resistant product with low density, good toughness and good thermal properties. In this research was developed a poly (lactic acid)-PLA based on polymeric composite containing chopped bamboo fibers in the proportions of 0, 3, 5 and 10% wt/wt. The resulting material was characterized by thermal analysis (TG), mechanical analysis, scanning electron microscopy (SEM) and optical

microscopy. In general, the analyzes showed very conclusive evidences about the low interfacial adhesion between the polymer blends and the vegetal fibers. Therefore, the results indicate that the formulated biocomposites can meet the need of specific niches of popular markets, such as decoration, which do not demand high performance of their products, making possible the use of vegetal fibers due to the reduction of final composite cost.

Keywords: Biopolymer. Poly (lactic acid). Polymeric composites. Bamboo fibers.

1. INTRODUÇÃO

Diante das inovações tecnológicas cada vez mais acentuadas no aspecto da preservação ambiental e de processos produtivos com menor impacto ao meio ambiente, inúmeras pesquisas estão sendo realizadas na busca do desenvolvimento de materiais de tecnologia renovável e de alta sustentabilidade. Entre estes materiais destacam-se os polímeros biodegradáveis.

Polímeros biodegradáveis são materiais em que a degradação resulta primariamente da ação de microrganismos, tais como fungos, bactérias e algas de ocorrência natural, gerando CO₂, CH₄, componentes celulares e outros produtos (ROSA et al, 2004).

Descobertos há quase três décadas, os plásticos biodegradáveis, também denominados plásticos biológicos ou bioplásticos, hoje ainda têm uma participação mínima no mercado internacional (KORNER; REDEMANN; STEGMANN, 2005), pois apesar da vantagem de sua aplicação quanto à preservação do meio ambiente, os plásticos biológicos são mais caros, e têm aplicações mais limitadas que os sintéticos, por apresentarem propriedades mecânicas mais pobres, embora o interesse por estes polímeros tenha crescido muito nos últimos tempos, no mundo todo (CHANDRA; RUSTGI, 1998).

A aplicação de polímeros biodegradáveis no agronegócio apresenta um enorme potencial, como, por exemplo, em filmes comestíveis para consumo final e para recobrimentos de alimentos, em tubetes biodegradáveis na formação de mudas para plantas, em filmes biodegradáveis para aplicação em campo, aditivados com insumos agrícolas, hidrogéis bioabsorvíveis além de outras formulações como por exemplo as formulações de polímeros biodegradáveis com fármacos veterinários.

Como exemplo, de polímeros biodegradáveis tem-se o poli (ácido láctico) PLA, o poli (ácido glicólico) (PGA), a policaprolactama (PCL), o poli(tereftalato-co-adipato de butileno) (PBAT), poli(hidroxicanoatos) (PHAs), poli(B-hidroxibutirato) (PHB), entre outros (FRANCHETTI; MARCONATTO, 2006).

O poli (ácido láctico) (PLA) é um polímero de grande interesse tecnológico devido às suas aplicações no campo ambiental, como plástico biodegradável, e na área biomédica, como material biocompatível (CHEN, 2003).

A adequação de um material à determinada aplicação se dá basicamente pela redução de custos e pela melhoria das propriedades apresentadas por este material. Uma das maneiras de se modificar as propriedades em um material polimérico, é através da adição de cargas, cuja análise é extremamente importante, pois é uma forma de se modificar as características de um produto visando uma determinada aplicação ou ampliando o campo de atuação deste material (OSTWALD, 1995). A combinação de matrizes poliméricas com materiais de reforços leva à obtenção de uma estrutura com propriedades mecânicas muito superiores às das matrizes poliméricas, os compósitos, os quais têm sido amplamente explorados como substitutivos dos materiais tradicionais, principalmente os metálicos (FRIED, 1992).

As fibras naturais, tais como resíduos agrícolas e agroindustriais, madeira, polpa de celulose e amido, têm sido amplamente empregadas como reforço ou carga de enchimento em compósitos à base de plástico sintético e biodegradável com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas dos mesmos, e por serem materiais compostos de substâncias biodegradáveis, abundantes e não tóxicas, também contribuem para a redução de custos do material final.

Uma maneira de modificar as propriedades do PLA, que é duro e quebradiço, é a incorporação de cargas e fibras na preparação de compósitos, utilizadas para melhorar a rigidez e a resistência mecânica da matriz.

Uma destas fibras citadas pode ser a fibra de bambu que é um complexo polimérico natural, com grande facilidade de obtenção como subproduto dos processos de sua industrialização sendo uma fibra biodegradável e de baixo custo.

O Bambu se apresenta como uma alternativa viável de fonte renovável e sustentável, sendo, de acordo com Xuhe (2003), uma planta de origem tropical e subtropical, abundante em todo o mundo e ocorre naturalmente em todos os continentes, apresentando rápido crescimento, completa o seu ciclo em poucos meses e atinge resistência máxima em poucos anos. O bambu apresenta boa resistência mecânica e especialmente resistência à tração, além de possuir uma alta relação resistência e peso específico em relação aos outros materiais convencionais como aço, concreto e madeira. Considerando que o bambu também é um material renovável e não poluente, torna-se um produto potencialmente econômico e sustentável, sendo que o seu rápido desenvolvimento vegetativo viabiliza colheitas com ciclos curtos, de dois a quatro anos com elevados níveis de produção (GHAVAMI, 1992).

O objetivo deste trabalho é estudar as propriedades termomecânicas do poli(ácido láctico) (PLA) reforçado com fibras de bambu.

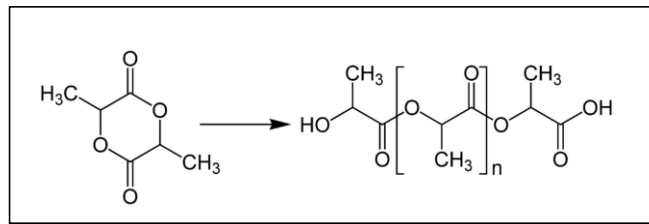
Desta forma, o estudo de parâmetros de processo deste polímero torna-se importante, a medida que se pretende mostrar ao setor produtivo a viabilidade da produção destes materiais a partir de processos já estabelecidos e conhecidos, por meio dos quais este material venha a ser aplicado com o menor custo possível, com fabricação otimizada e sem perda de nenhuma das propriedades de interesse quando comparadas ao material tradicional não biodegradável e obtido de fontes não renováveis.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os polímeros naturais, em geral, têm recebido um interesse crescente nos últimos anos, a nível mundial, devido a preocupação ambiental. A importância de estudos sobre substituições dos plásticos e de compósitos poliméricos que causam grande impacto ambiental por polímeros e biocompósitos que são facilmente decompostos pelo ambiente vem crescendo potencialmente na atualidade. O PLA é um polímero termoplástico biodegradável, compostável, atóxico e utilizado nos processos industriais para produção de artigos destinados à aplicação de engenharia, na área têxtil, agricultura e como material de embalagem. No entanto, não foram observados na literatura estudos do PLA com fibra de bambu. O pequeno número de empresas dedicando-se a esse tipo de material deve-se ao seu alto custo quando comparado com outros polímeros sintéticos. A adição de fibras de bambu não altera a biodegradabilidade do compósito formado, devido a sua origem natural.

PLA: A polimerização do monômero, ácido láctico, origina a formação de polímeros semicristalinos, sendo o grau de cristalinidade altamente dependente da massa molecular e dos parâmetros de processamento e de transformação do mesmo em biodegradável.

O ácido láctico forma o PLA através da reação de policondensação. A policondensação é uma reação de equilíbrio e a dificuldade de remover a água formada durante a reação pode limitar a massa molar alcançada devido a hidrólise das ligações ésteres. A solução para este problema é o uso do ácido láctico dimérico cíclico como precursor (PORTER, 2006). O Esquema 1 apresenta a reação de polimerização do PLA.

Esquema 1: Reação de polimerização do PLA.

Fonte: QUEIROZ (2000)

Os catalisadores empregados são os ácidos e bases de Lewis diferentes de sais de metais, embora estes sais metálicos sejam os mais indicados na síntese de polímeros com alto valor de massa molar. Os catalisadores mais utilizados são os a base de ferro, a base de estanho e zinco e os lactatos de zinco (COUTINHO, 2006).

O PLA apresenta em torno de 37% de cristalinidade, temperatura de transição vítrea (T_g) em torno de 60-65°C, temperatura de fusão entre 174 a 184°C e um módulo de elasticidade entre 2,7 a 16 GPa.

O poli L-ácido láctico (PLLA) derivado do ácido láctico possui alta resistência, comportamento termoplástico, biocompatibilidade, sensibilidade à água, visto que se degradam lentamente comparado com os polímeros solúveis que incham na água. O copolímero PLGA requerer um menor tempo para sua completa degradação, sua estrutura química é mais suscetível à reação de hidrólise, já que em sua cadeia polimérica existe o mero proveniente do ácido glicólico, que possui um impedimento menor ao ataque das moléculas de água (NAGEM FILHO et al, ; 2007). O PLA é um polímero semi-cristalino, com temperatura de transição vítrea de 57°C e ponto de fusão de 174 – 184°C, o grupo metil do PLA faz com que ele seja hidrofóbico e mais resistente a hidrólise.

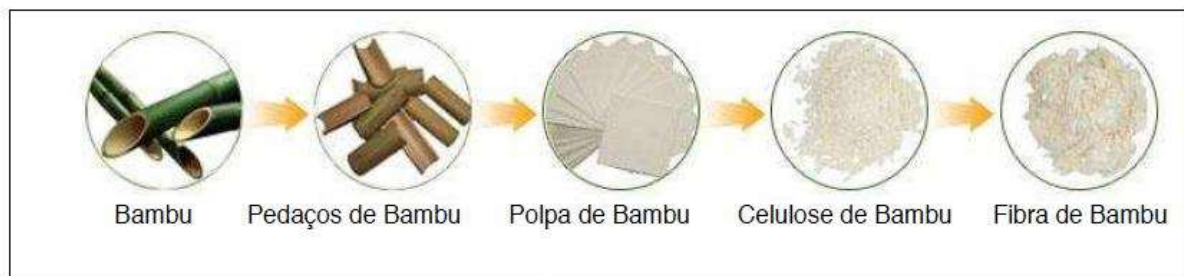
A capacidade do PLA ser processado em equipamentos convencionais de embalagens aliados à combinação de suas propriedades desejáveis, como alta claridade, rigidez e capacidade de impressão está proporcionando uma nova oportunidade aos setores que utilizam termoplásticos, que têm a oportunidade de utilizar os polímeros de forma mais responsável, por meio da aplicação de um material biodegradável que não traz impacto ao meio ambiente (PONCE; BUENO; LUGÃO, 2009).

O PLA pode ser extrudado ou moldado, podendo ser também orientado biaxialmente. Todos os processos utilizados para termoplásticos podem ser utilizados para o PLA, variando-se alguns parâmetros, pois devido a sua estrutura química, ele absorve facilmente a umidade, além de apresentar um baixo poder calorífico apresentando um aumento de temperatura muito rápido durante o seu processamento. Portanto, seu processamento exige cuidados

sendo, na maioria das vezes, necessário uma secagem adequada para evitar a degradação do mesmo durante o processo.

FIBRA DE BAMBU: O Bambu se apresenta como uma alternativa viável de fonte renovável e sustentável, sendo, de acordo com Xuhe (2003), uma planta de origem tropical e subtropical, abundante em todo o mundo e ocorre naturalmente em todos os continentes, apresentando rápido crescimento, completa o seu ciclo em poucos meses e atinge resistência máxima em poucos anos. O bambu, bem como suas fibras, apresentam boa resistência mecânica e especialmente resistência à tração, além de possuir uma alta relação resistência e peso específico em relação aos outros materiais convencionais como aço e a madeira. Considerando que o bambu também é um material renovável e não poluente, torna-se um produto potencialmente econômico e sustentável, sendo que o seu rápido desenvolvimento vegetativo viabiliza colheitas com ciclos curtos, de dois a quatro anos com elevados níveis de produção (GHAVAMI, 1992). O Quadro 1 apresenta a obtenção das fibras de bambú (GRIPA, 2016).

Quadro 1: Obtenção das fibras de bambu (GRIPA, 2016).



Fonte: GRIPA, 2016.

A Tabela 1 apresenta algumas propriedades físico-mecânicas das fibras de bambu.

Tabela 1: algumas propriedades físico-mecânicas das fibras de bambu

Resistência à Tração na ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação na ruptura(%)	Absorção de água (%)	Densidade (kg/cm³)
442-571	24,6 - 37,9	3,22	145	1158-1520

3. METODOLOGIA

Materiais: poli(ácido láctico) (PLA), produzido pela empresa Cargill com o nome comercial INGENIO 3051D na forma de grânulos (pellets); fibra de bambu, fornecido pela China Bambro Textile Co.; octadecilamina, fornecida pela Merck; NaOH fornecido pela Merck.

Métodos:

• **Tratamento da Fibra de Bambu:** Inicialmente a fibra de bambu sofreu um branqueamento com NaOH 10m%, por 2 horas e posteriormente a fibra foi seca em estufa a 65°C. Após resfriamento a fibra de bambu, pré tratada com NaOH, foi tratada com octadecilamina de acordo com método desenvolvido por Zapata e outros (2008).

• **Obtenção dos Compósitos:** Os compósitos PLA/FB, foram obtidos pela incorporação da fibra à matriz polimérica em um misturador fechado MIX, TH equipamentos. Posteriormente, os compostos obtidos foram moídos em um moinho de facas SEIBT e processados por injeção, em uma injetora ROMI, PRIMAX 65 R, para obter os diferentes corpos e prova de acordo com as respectivas normas. Foram obtidos 4 compósitos de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Compósitos obtidos

COMPÓSITO	COMPOSIÇÃO	
	PLA(m%)	FIBRA DE BAMBU(m%)
Compósito 1 – C1	100	0
Compósito 2 – C2	97	3
Compósito 3 – C3	95	5
Compósito 4 – C4	90	10

• **Caracterização dos nanocompósitos:** As amostras foram caracterizadas por meio de ensaios reométricos (índice de fluidez), ensaios mecânicos (de tração, flexão, compressão, impacto e dureza) e morfológicos por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

- **Índice de fluidez (MFI):** Os ensaios de índice de fluidez foram realizados de acordo com a norma ASTM D 1238, a 190°C, com pressão exercida por um peso com massa de 2,160kg.

- **Tração:** A resistência à tração das amostras será determinada de acordo com a norma ASTM D-638-94.

- **Flexão:** A resistência à flexão das amostras será determinada de acordo com a norma ASTM 790-94;

- **Compressão:** A resistência à compressão das amostras será determinada de acordo com a norma ASTM D 1621;

- **Impacto:** A resistência ao impacto das amostras será determinada de acordo com a norma ASTM D256-93a;

- **Dureza:** A dureza das amostras será obtida por meio de durômetro Shore A, de acordo com a norma ASTM D 2240.

- **Temperatura de deflexão ao calor – HDT:** A HDT será determinada de acordo com a norma ASTM D 648-96.

- **Temperatura de amolecimento Vicat:** Será determinada pela ASTM D1525.

- **Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV):** A morfologia das amostras será observada por meio de microscopia eletrônica de varredura. Neste ensaio são avaliadas as propriedades de adesão carga/matriz no nanocompósito estudado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise visual

O Quadro 2 apresenta as fotografias dos compósitos obtidos.

Quadro 2: Compósitos obtidos: A) PLA puro; B) PLA/35FB; C) PLA/5%FB; D) PLA/10%FB.



Como pode ser observado no Quadro 2 foram obtidos compósitos com boa qualidade superficial.

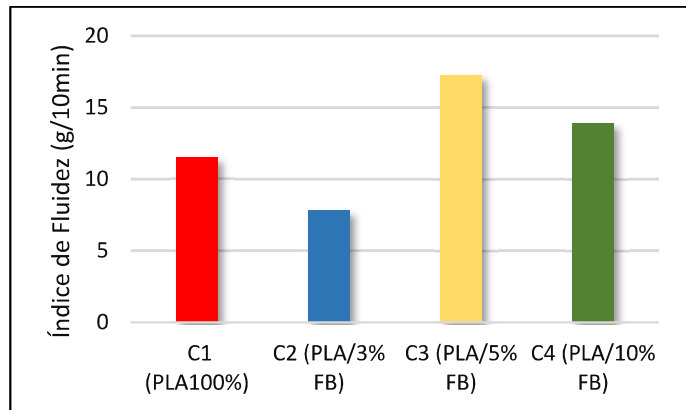
4.2.Índice de Fluidez

A Tabela 3 e o Gráfico 1 apresentam os resultados para os ensaios de índice de fluidez dos compósitos obtidos.

Tabela 3: Índice de fluidez dos compósitos obtidos.

Gráfico 1: Índice de fluidez dos nanocompósitos obtidos.

Compósito	Índice de Fluidiez (g/10min)
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	11,50±2,38
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	7,83±1,92
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	17,268±4,24
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	13,94±3,98



Por meio dos resultados obtidos observou-se que a adição de fibra de bambu à matriz de PLA na concentração de 3m% provoca um decréscimo no índice de fluidiez da matriz de PLA, enquanto que a adição das fibras de bambu nas concentrações de 5 e 10m% provoca um aumento no índice de fluidiez. Provavelmente, para estas concentrações (5 e 10m%) ocorre um cisalhamento nas moléculas da matriz, diminuindo sua massa molar. Observa-se também, que o efeito do cisalhamento aumenta com o aumento da concentração d fibra de bambu.

4.3 Resistência à Tração

A Tabela 4 e os Gráficos 2 e 3 apresentam os resultados para os ensaios de resistência à tração dos compósitos obtidos.

Tabela 4: Resultados para os ensaios de resistência à tração dos compósitos obtidos.

<i>Nanocompósito</i>	<i>Resistência à tração na ruptura (MPa)</i>	<i>Alongamento na ruptura (%)</i>
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	49,80±1,65	13±50,39
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	45,00±2,13	12±0,54
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	44,50±1,46	12±1,20
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	43,90±0,95	11±0,31

Gráfico 2: Resistência à tração dos nanocompósitos obtidos.

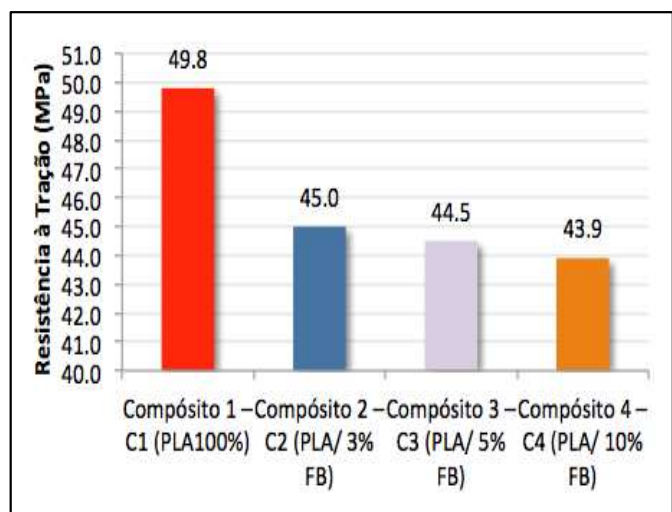
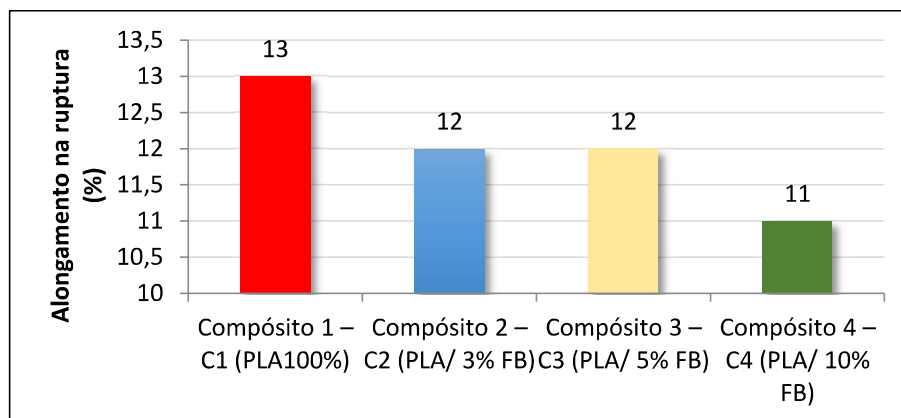


Gráfico 3: Alongamento na ruptura sob tração dos nanocompósitos obtidos.



Por meio dos resultados obtidos observou-se que:

- Quanto maior a concentração de fibras de bambu composto PLA/FB menor a resistência à tração e menor é o alongamento na ruptura sob tração;

- Comparando os valores de resistência à tração dos compósitos de PLA/FB observa-se que no compósitos PLA/3%FB houve um decréscimo da ordem de 9,6% da tensão em relação ao composto PLA puro. Já no compósito PLA/5%FB o decréscimo foi da ordem de 10,6% em relação ao nanocompósito PLA puro e no compósito PLA/10%FB este decréscimo foi de 11,8% em relação ao compósito PLA puro, mostrando que a fibra de bambu atua como uma carga de enchimento no compósito;

- Comparando os valores de alongamento máximo sob tração dos compósitos de PLA contendo fibra de bambu observa-se que no compósito PLA puro houve um alongamento de 13%. No nanocompósito PLA/3%FB o alongamento foi de 12%, sendo este mesmo valor determinado para o compósito PLA/5%FB. No compósito PLA/10% o alongamento foi de 11%.

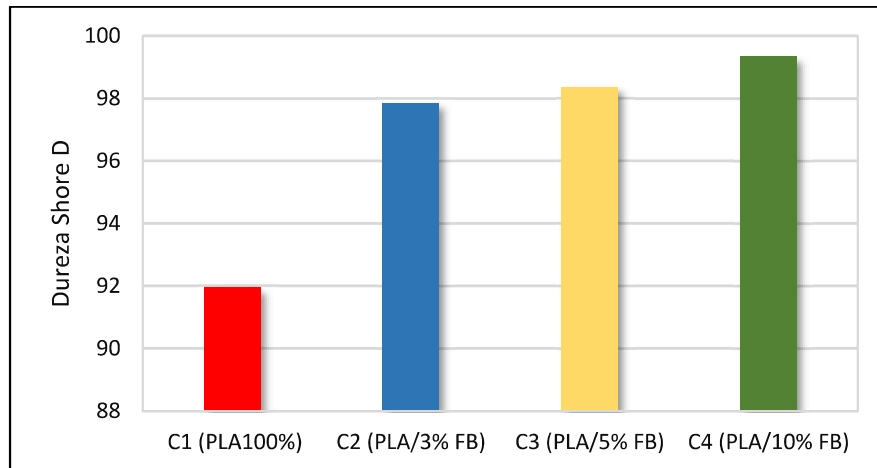
4.4 Dureza

A Tabela 5 e o Gráfico 4 apresentam os resultados para os ensaios de dureza dos compósitos obtidos.

Tabela 5: Dureza dos compósitos obtidos.

<i>Nanocompósito</i>	<i>Dureza Shore A</i>
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	91,94±3,32
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	97,86±1,91
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	98,36±1,02
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	99,34±0,86

Gráfico 4: Dureza dos compósitos obtidos.



Por meio dos resultados obtidos observa-se que:

- A adição de fibra de bambu provoca um aumento na dureza dos compósitos.

- Quanto maior a concentração de fibras maior a dureza dos compostos obtidos. Provavelmente ocorre uma boa adesão das fibras à matriz, embora, durante o processamento, a adição das fibras provoque um cisalhamento na matriz polimérica.

- Comparando os valores de dureza dos compósitos de PLA/FB observa-se que no compósitos PLA/3%FB houve um aumento da ordem de 6,4% em relação ao composto PLA puro. Já no compósito PLA/5%FB o aumento foi da ordem de 7,0% em relação ao nanocompósito PLA puro e no compósito PLA/10%FB este aumento foi de 8,0% em relação ao compósito PLA puro.

4.5 Temperatura de Distorção Térmica e Ponto de Amolecimento Vicat

A Tabela 6 e os Gráficos 5 e 6 apresentam os resultados para os ensaios de temperatura de amolecimento Vicat dos compostos obtidos.

Por meio dos resultados obtidos pode-se observar que:

- Praticamente, a adição de fibra de bambu na matriz de PLA, para as concentrações estudadas, não altera o a temperatura de distorção térmica (HDT) e a temperatura de amolecimento Vicat, embora para as concentrações de 3% e 5% a adição de fibra de bambu diminua a temperatura de distorção térmica (HDT) e a temperatura de amolecimento Vicat dos compósitos. Provavelmente, o decréscimo é devido ao cisalhamento provocado pela adição da fibra à matriz.

- Observa-se que para a concentração de 10% de fibra de bambu presente na matriz há uma tendência de aumento tanto da temperatura de amolecimento Vicat quanto da temperatura de distorção térmica HDT.

Tabela 6: Temperatura de amolecimento Vicat dos nanocompósitos obtidos.

Compósito	Temperatura de Distorção Térmica (HDT) - (°C)	Temperatura de amolecimento Vicat (°C)
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	54,4± 0,2	68,8±1,7
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	53,9±0,2	68,5±0,5
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	53,8±0,3	67,8±2,2
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	54,5±0,3	69,7±0,8

Gráfico 5 – Temperatura de distorção térmica HDT dos compósitos obtidos.

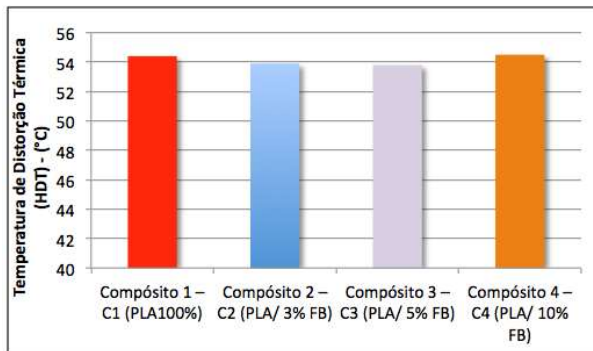
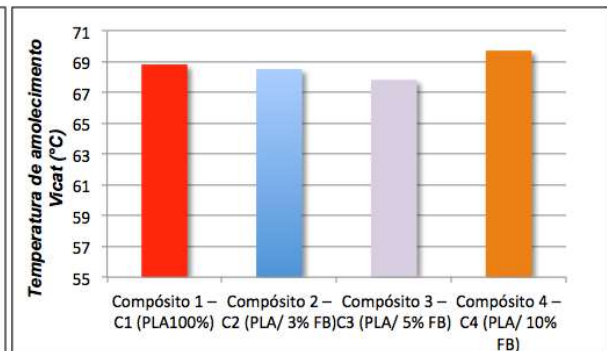


Gráfico 6 – Temperatura de amolecimento Vicat dos compósitos obtidos.



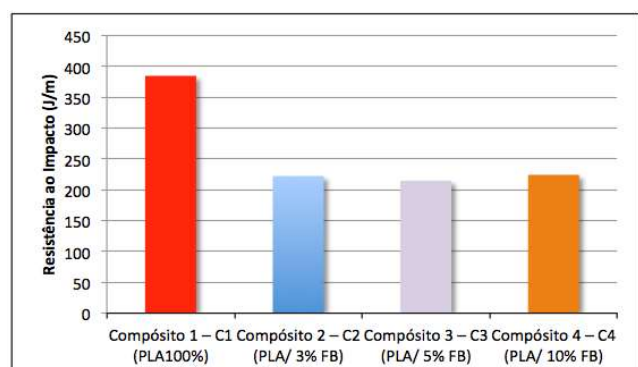
4.6 Resistência ao Impacto

A Tabela 7 e o Gráfico 7 apresentam os resultados para os ensaios de impacto.

Tabela 7: Resistência ao impacto dos compósitos obtidos.

Compósito	Resistência ao Impacto (J/m)
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	384,7±30,2
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	222,3±25,0
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	214,7±44,33
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	224,3±31,0

Gráfico 7: Resistência ao impacto dos compósitos obtidos.



Por meio dos resultados obtidos pode-se observar que:

- A adição de fibra de bambu provoca um decréscimo na resistência ao impacto dos compósitos. Provavelmente a fibra de bambu enrijece a matriz de PLA;
- Para as concentrações estudadas, levando-se em conta a média e o desvio padrão dos resultados obtidos, decréscimo é praticamente o mesmo;

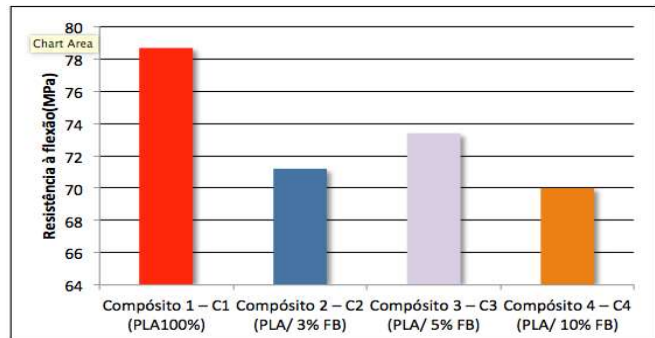
4.7 Resistência à Flexão

A Tabela 8 e o Gráficos 8 apresentam os resultados para os ensaios de resistência à flexão dos compósitos obtidos.

Tabela 8: Resultados para os ensaios de resistência à flexão dos compósitos obtidos.

Nanocompósito	Resistência à flexão(MPa)
Compósito 1 – C1 (PLA100%)	78,7±2,7
Compósito 2 – C2 (PLA/ 3% FB)	71,2±2,1
Compósito 3 – C3 (PLA/ 5% FB)	73,4±11,8
Compósito 4 – C4 (PLA/ 10% FB)	70,0±4,6

Gráfico 8: Resistência à flexão dos compósitos obtidos.



Por meio dos resultados obtidos observou-se que:

- A presença das fibras de bambú provoca um decréscimo na resistência à flexão dos compósitos obtidos. Quanto maior a concentração de fibras de bambu composto PLA/FB menor a resistência à flexão;

- Comparando os valores de resistência à flexão dos compósitos de PLA/FB observa-se que no compósitos PLA/3%FB houve um decréscimo da ordem de 9,5% da tensão em relação ao composto PLA puro. Já no compósito PLA/5%FB o decréscimo foi da ordem de 6,7% em relação ao nanocompósito PLA puro e no compósito PLA/10%FB este decréscimo foi de 11,0% em relação ao compósito PLA puro, mostrando que a fibra de bambu atua como uma carga de enchimento no compósito. Estes resultados estão de acordo com os obtidos para o ensaio de tração.

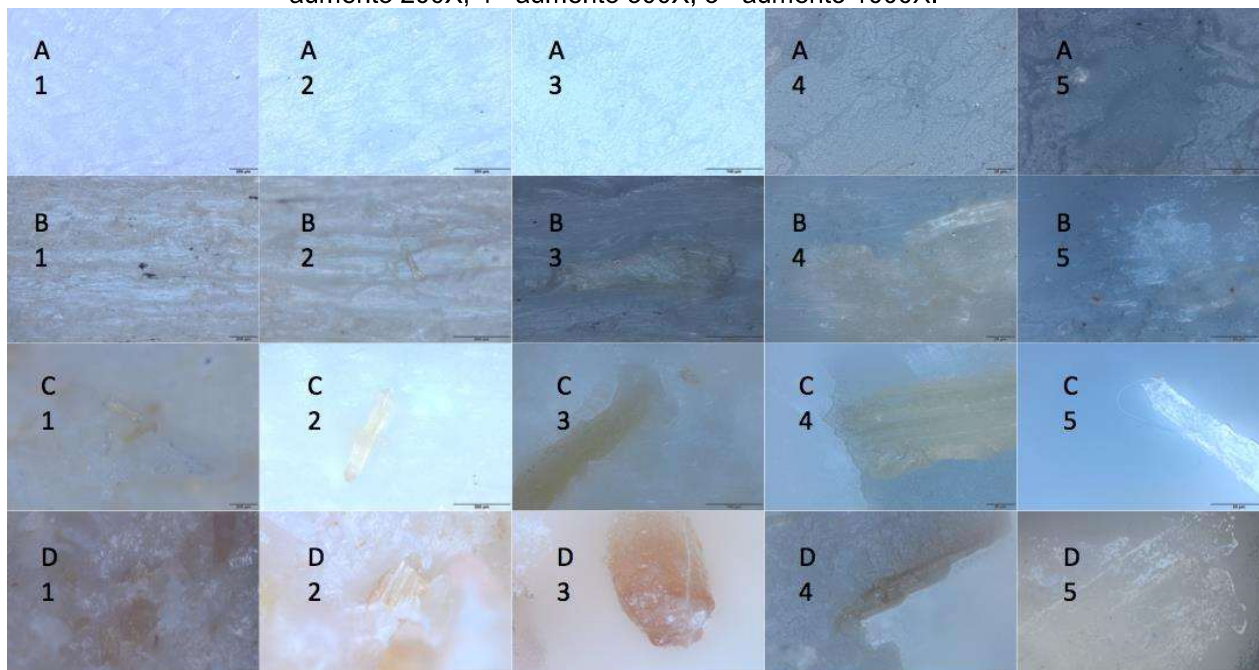
4.8 Microscopia Óptica com Luz Polarizada

O Quadro 3 apresenta as micrografias ópticas com luz polarizada dos compostos obtidos.

Por meio das micrografias obtidas pode-se observar que:

- Não houve uma boa dispersão das fibras de bambu nos compostos obtidos;
- A incorporação de fibras à matriz de PLA gera a formação de espaços vazios na matriz polimérica, provavelmente devido à incorporação de ar durante o processamento;
- Observa-se que há pouca adesão da matriz às fibras de bambu.

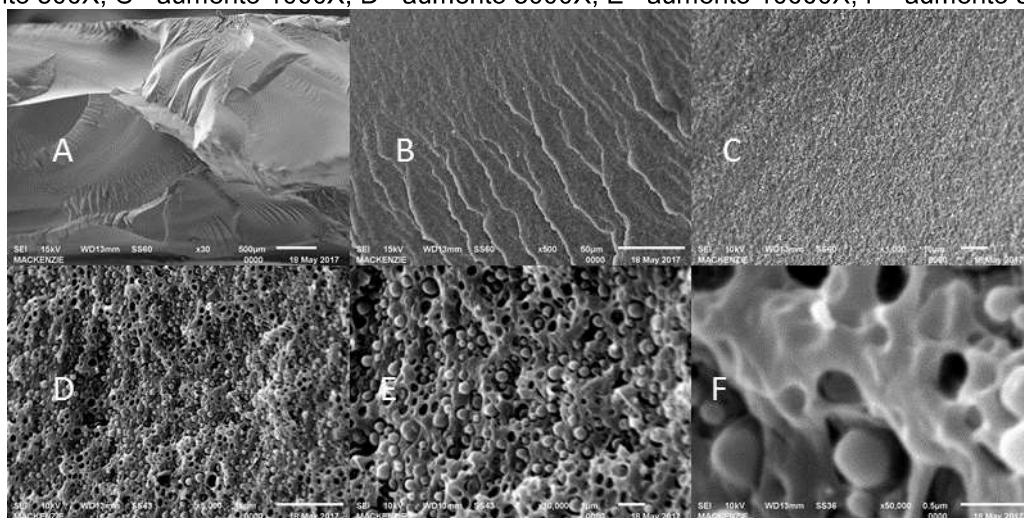
Quadro 3: Micrografias óptica com luz polarizada dos compósitos obtidos: - Índices: A=PLA puro; B=PLA/3%FB; C=PLA/5%FB; D=PLA/10%FB; - Subíndices: 1=aumento 50X; 2= aumento 100X; 3= aumento 200X; 4= aumento 500X; 5= aumento 1000X.



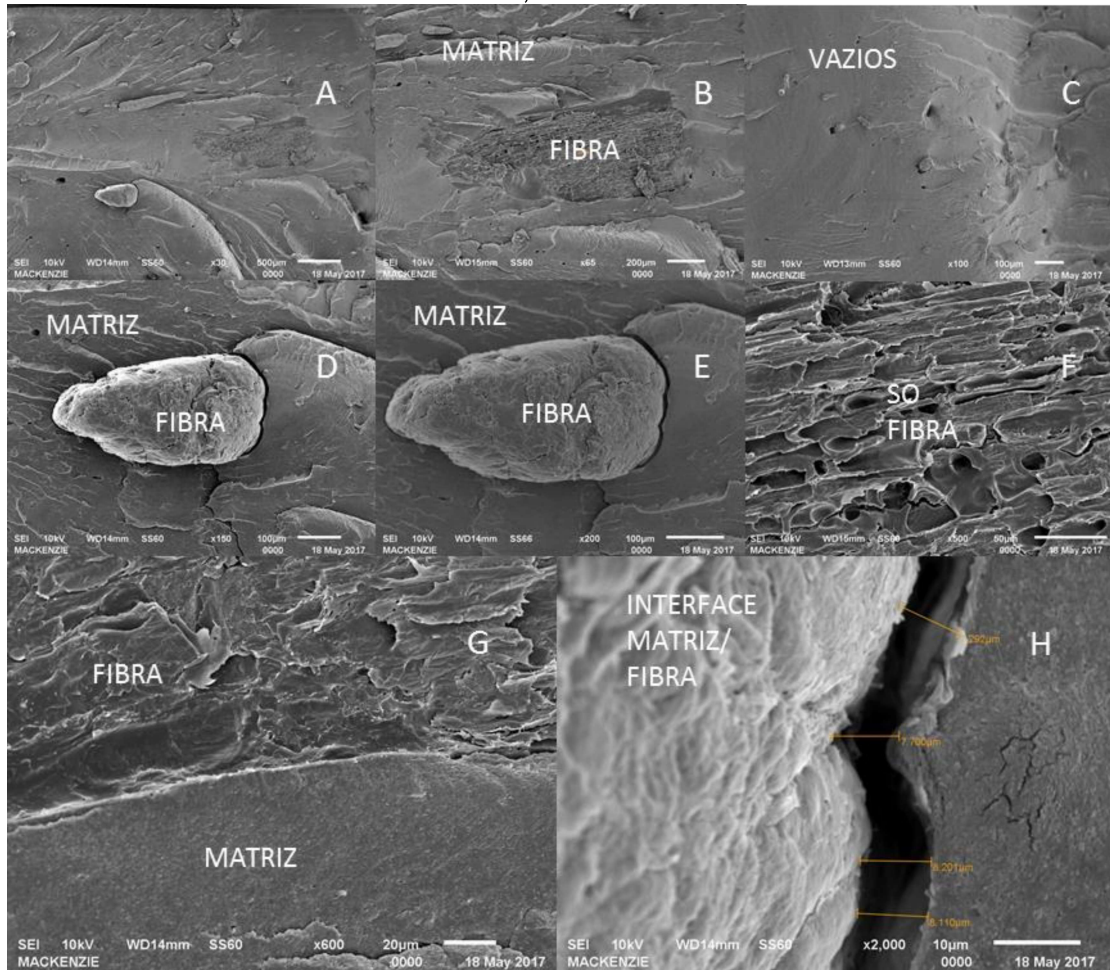
4.8 Microscopia Eletrônica de Varredura (Mev)

Os Quadros 4 a 7 apresentam as micrografias eletrônicas de varredura (MEV) dos compostos obtidos.

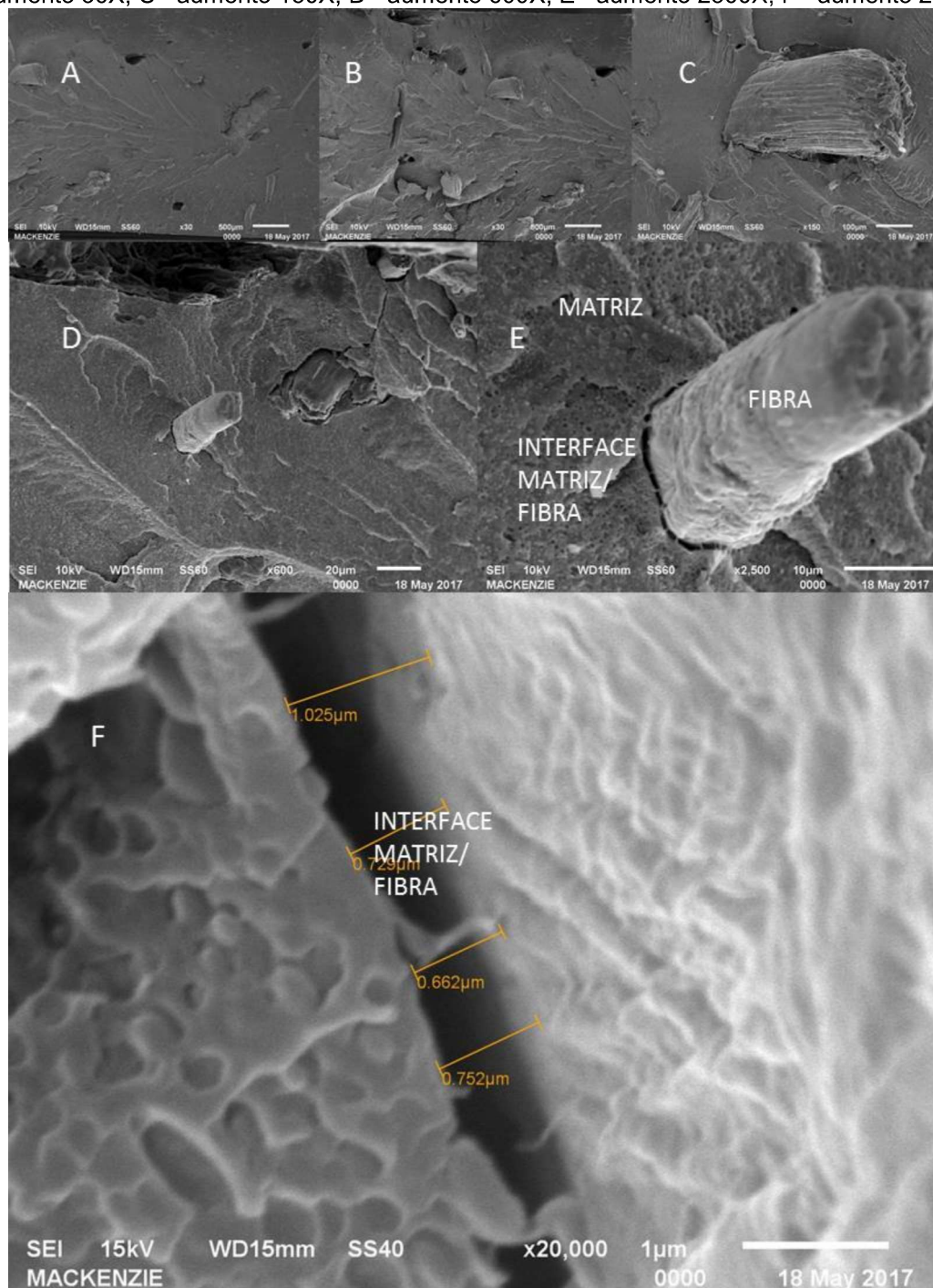
Quadro 4: MEV dos compósitos obtidos com 100% de PLA puro: - Índices: A= aumento 30X; B= aumento 500X; C= aumento 1000X; D= aumento 5000X; E= aumento 10000X; F= aumento 50000X.



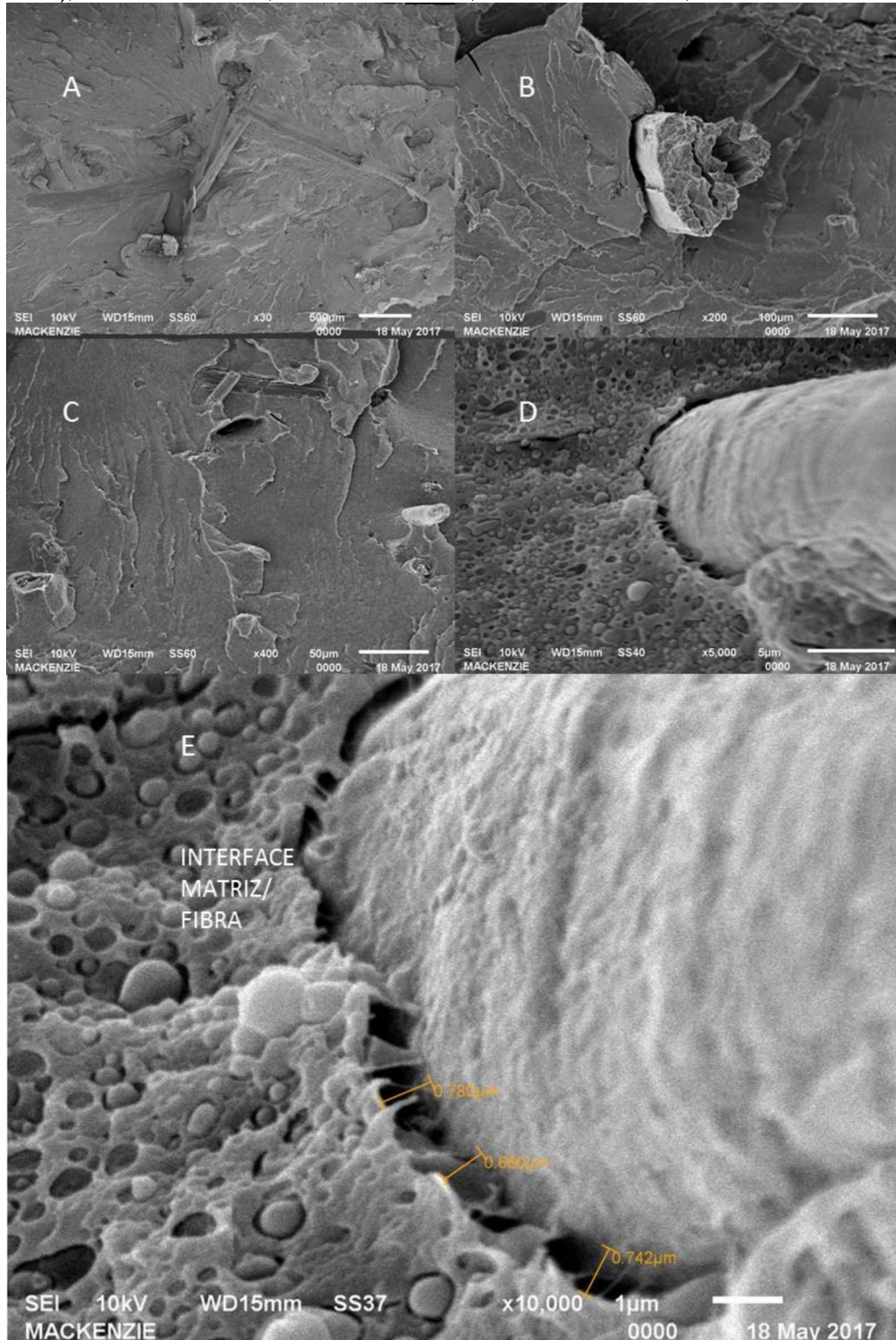
Quadro 5: MEV dos compósitos obtidos com PLA/3%FB: - Índices: A= aumento 30X; B= aumento 65X; C= aumento 100X; D= aumento 150X; E= aumento 200X; F= aumento 500X(só fibra); G= aumento 600X; F= aumento 2000X.



Quadro 6: MEV dos compósitos obtidos com PLA/5%FB: - Índices: A= aumento 30X (fibras e vazios); B= aumento 30X; C= aumento 150X; D= aumento 600X; E= aumento 2500X; F= aumento 20000X.



Quadro 7: MEV dos compósitos obtidos com PLA/10%FB: - Índices: A= aumento 30X (fibras e vazios); B= aumento 200X; C= aumento 400X; D= aumento 5000X; E= aumento 10000X.



Por meio das micrografias obtidas pode-se observar que:

- Conforme observado na microscopia óptica, a incorporação de fibra de bambu à matriz polimérica proporciona a formação de vazios na matriz polimérica. Provavelmente, devido a incorporação de ar durante o processamento;

- Para os compósitos contendo 3% e 5% de fibra, praticamente, não houve adesão da fibra à matriz polimérica;
- Para os compósitos contendo 10% de fibra pode-se notar uma maior adesão da fibra à matriz à matriz polimérica;
- Quanto maior a concentração de fibras de bambu maior o tamanho dos espaços vazios deixados pelas fibras, mostrando que quanto maior a concentração de fibras maior a dificuldade da dispersão das fibras na matriz polimérica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meios dos resultados é possível concluir que:

- É possível obter compósitos de PLA contendo fibras de bambu com boa qualidade superficial.
- A adição de fibras de bambu ao PLA nas concentrações acima de 3% causam um decréscimo no índice de fluidez, indicando um decréscimo na massa molar devido ao cisalhamento das moléculas poliméricas durante o processamento;
- A adição de fibra de bambu ao PLA nas concentrações estudadas provoca um decréscimo nas propriedades mecânicas (tração, flexão e impacto) e um aumento na dureza dos compósitos obtidos.
- Os ensaios microestruturais apresentaram evidências bastante conclusivas sobre a baixa adesão interfacial entre o polímero e as fibras vegetais.
- Nas condições estudadas, as fibras de bambu não agem como reforço na matriz de PLA, mas sim como material (fibra) de enchimento

Os resultados obtidos indicam que os biocompósitos formulados podem atender às necessidades de nichos específicos de mercados populares, como o de decoração, os quais não demandam de alto desempenho de seus produtos, viabilizando o uso de fibras vegetais devido à redução de custo do compósito final.

REFERÊNCIAS

CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradable Polymers. *Prog. Polym. Sci.*, v. 23, p. 1273–1335, 1998 .

CHEN, C.C. Preparation and characterization of biodegradable PLA polymeric blends. *Biomaterials*, v.24, p.1167-1173, 2003.

FRANCHETTI, S. M. M. ; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. *Química Nova*, SBQ SP, v. 29, p. 811-816, 2006.

FRIED, J. R. Polymer Science and Technology. Prentice Hall, PTR, N.Y., 1992.

GHAVAMI, K. Bambu: Um Material Alternativo na Engenharia. *Revista do Instituto de Engenharia*, n.492, p. 23-27, 1992.

GRIPA, D. Qual a viabilidade da aplicação de viscose feita de bambu em artigos de vestuário.

Disponível em: <http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2014/01/Dimas-Gripa.pdf>

Acesso em: 27/04/2016.

KORNER, I.; REDEMANN, K.; STEGMANN, R. Behaviour of biodegradable plastics in composting facilities. *Waste Manag.* v. 25, n. 4, p. 409-415, 2005.

MARINHO, N.P, Características das fibras do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) E potencial de aplicação em painéis de fibra de média densidade (MDF). Dissertação apresentada programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Área de concentração Engenharia de Materiais, Da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil, 2012.

NAGEM FILHO, H.; CAMPI JÚNIOR, L.; NAGEM, H. D.; FRANCISCONI, P. A. S. Engenharia tecidual dos biomateriais / Scaffolds in tissue engineering bone. *Innov. implant. j*;2(3):54-62, jun. 2007.

OSTWALD, T. Materials Science of Polymers for Engineer. Hanser Publisher, N.Y., 1995.

PAIVA, L.B.; MORALES, A.R.; DIAZ, F.R.V.; Argilas organofílicas: característica, metodologia de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. *Cerâmica*, v.54, p.213-226, 2008.

PONCE, P. ; BUENO, V. B. ; LUGÃO, A. B . Filmes biodegradáveis produzidos com poli(caprolactona)(PCL) e nanopartículas de prata: embalagens ativas para maçã. In: 10 Congresso Brasileiro de Polímeros (CBPOL), p. 181-181, 2009.

PORTER, K. A. Ring Opening Polymerization of Lactide for The synthesis of Poly (Lactic Acid). 2006

Disponível em:

http://chemistry.illinois.edu/research/organic/seminar_extracts/2005_2006/06_Porter.pdf

Acesso em 26/04/2016

QUEIROZ, D. P. Diagrama de fases, propriedades térmicas e morfológicas de blendas de poli(ácido láctico) e poli(metacrilato de metila). 2000. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

ROSA, D.S.; LOTTO, N.T.; LOPES, D.R.; GUEDES, C.G.F. The use of roughness for evaluating the biodegradation of poly- β -(hydroxybutyrate) and poly- β -(hydroxybutyrate-co- β -valerate). *Polymer Testing*. v. 3, n. 1, p. 3-8, 2004.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based Composites and Panel Products. Forest Products Laboratory. Wood handbook – Wood as an engineering material. Gen. Tech. Report FPL-GTR-113, Madison, WI: U.S Department of Agriculture. Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463p.

XUHE, C. Promotion of Bamboo for Poverty Alleviation and Economic Development In: PROCEEDING OF INTERNATIONAL WORKSHOP ON BAMBOO INDUSTRIAL UTILIZATIONS, October, 2003: International Network for bamboo and Rattan-INBAR, Nanjing Forestry University of China, 2003.

ZAPATA, P.; QUIJADA, R.; RETUERT, J.; MONCADA, E. **J.Chil.Chem.Soc.**no 1, 2008.

Contatos: rafaelsilveirabueno@hotmail.com e leila.miranda@mackenzie.br