

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUACAO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Petra Carla Sabba Gomes

**UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO
COM ESPUMA DE POLIURETANO**

Goiânia, 2018

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS GRADUACAO
IFG CAMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Petra Carla Sabba Gomes

**UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA PARA PRODUÇÃO DE COMPÓSITO
COM ESPUMA DE POLIURETANO**

Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPG-TPS- IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Tecnologia de Redução e Gerenciamento de Resíduos.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Botelho de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Danni Pereira Barbosa

Goiânia, 2018

G631u Gomes, Petra Carla Sabba.

Utilização da fibra de bananeira para produção de compósito com espuma de poliuretano /
Petra Carla Sabba Gomes. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, 2018.

61f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Botelho de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Danna Pereira Barbosa.

Dissertação de Mestrado – Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Compósito. 2. Fibra de bananeira. 3. Espuma de poliuretano. I. Oliveira, Sérgio Botelho de (orientador). II. Barbosa, Danna Pereira (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 684.106



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
IFG CÂMPUS GOIÂNIA
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

Petra Carla Sabba Gomes

**“UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE BANANEIRA PARA PRODUÇÃO DE
COMPÓSITO COM ESPUMA DE POLIURETANO”**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em
Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG
(PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado
Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de
Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa:
Tecnologia de Redução e Gerenciamento de
Resíduos.

Prof(a). Dr(a). SÉRGIO BOTELHO DE OLIVEIRA (presidente e orientador – IFG PPGTPS)

Assinatura _____

Prof(a). Dr(a). DANNIS PEREIRA BARBOSA (coorientador – PUC GOIÁS / PPGTPS)

Assinatura _____

Prof(a). Dr(a). FERNANDO SCHIMMIDT (avaliador IFG PPGTPS)

Assinatura _____

Prof(a). Dr(a). CHRISTIAN GONÇALVES ALONSO (avaliador – UFG)

Assinatura _____

Aprovado em: 25/09/2018

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, ao meu filho e aos meus irmãos, que sempre me estimulam, fortalecem e contribuem positivamente na busca dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

A Deus agradeço pela saúde que me concede e por todas as realizações em minha vida.

Aos meus familiares que, durante a realização deste trabalho, foram de suma importância para que minhas forças não cessassem e o meu objetivo fosse alcançado em meio às adversidades e lutas diárias.

Ao orientador, professor Dr. Sérgio Botelho de Oliveira, agradeço enormemente pela orientação e por todo conhecimento a mim proporcionado dentro e fora do universo acadêmico. É certo que se tornou um amigo, por toda dedicação, paciência, otimismo e confiança que conduziu este trabalho.

Ao Sr. Rildo Moreira Meireles, que nos trouxe a ideia para o desenvolvimento deste trabalho e por toda dedicação e auxílio na realização.

Aos senhores Moacir Lázaro Melo e Rodrigo Miguel de Melo, que nos permitiram realizar todos os ensaios no Laboratório Plumatex.

Aos colaboradores do Laboratório Plumatex, Cybelle de Lima Gonçalves e Pedro Henrique Araújo, por toda dedicação, competência e paciência em nos auxiliar com a realização dos ensaios e pelo conhecimento técnico transmitido, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Sr. Walter Antônio de Oliveira, que gentilmente permitiu uma visita técnica em sua fábrica (Renascer Indústria e Comércio EIRELI - ME), nos ensinou sobre o processo produtivo do aglomerado de espuma, nos cedeu matérias-primas e confeccionou uma amostra para a realização deste trabalho.

A Escola de Agronomia da UFG pela cessão do espaço dos laboratórios.

Aos amigos Paulo Roberto Freitas Silva Pelágio, Kairo Fernandes Martins, Bruno Gregório Menita, João Paulo Veloso Fernandes, Marlene Cardoso Soares, Pedro Henrique Rodrigues e Silva, Vanessa Cristiane de Santana Amaral e Alessandra Fontes Mathias pelo incentivo, pela ajuda com alguns trabalhos e pelo apoio sempre presente ao longo do curso.

A todo corpo docente do mestrado, foram exímios norteadores do ensino com vistas às práticas sustentáveis.

Aos secretários servidores do IFG/Goiânia, Leila Ninon de Souza e Kerston Marques por todo apoio prestado com tanta paciência, cordialidade e eficiência durante o curso.

Aos membros da banca examinadora pela participação e contribuição direta na etapa final deste trabalho. Críticas e sugestões são imprescindíveis quando se busca a excelência.

“A estrada da vida é uma reta marcada de encruzilhadas. Caminhos certos e errados, encontros e desencontros do começo ao fim. Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina.”

(Cora Coralina)

RESUMO

A crescente evolução da consciência ambiental estimula o desenvolvimento de produtos ecológicos e a preocupação com a destinação adequada dos resíduos. As fibras vegetais, consideradas resíduos agrícolas, tornam-se subprodutos amplamente utilizados na fabricação de materiais e produtos, melhorando suas propriedades mecânicas, desempenho e redução de custos; além das vantagens como biodegradabilidade, origem renovável e ampla disponibilidade. O Brasil se destaca na produção de banana sendo um dos maiores produtores do mundo. A fibra de bananeira tem sido muito utilizada na fabricação de vários produtos, como papel, artesanato, móvel, painel aglomerado e compósito, melhorando as propriedades mecânicas destes. Outro tipo de resíduo que traz bastante preocupação em relação à disposição final ambientalmente segura é o industrial, destacando-se os resíduos de poliuretano. A finalidade deste trabalho foi desenvolver um compósito de flocos de espuma de poliuretano, aparas têxteis e fibras de bananeira - AGFB, que tenha melhor desempenho e maior durabilidade, avaliados com base nos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1, em relação ao aglomerado de espuma - AG; produto composto por aparas têxteis e espuma de poliuretano para ser utilizado na fabricação de colchões. Na determinação da melhor composição do compósito, o percentual de 10% de fibra de bananeira é o mais indicado, porém percebeu-se que a seleção dos resíduos de espuma flexível de PU, quanto à densidade e teor de cinzas da espuma originária, deve ser realizada, a fim de que a densidade e a dureza do compósito fiquem adequadas, possibilitando a realização dos ensaios de força de indentação a 40% e de fadiga dinâmica. Assim, os resultados não foram totalmente conclusivos para atribuir melhores desempenho e durabilidade do AGFB em relação ao AG para uso em colchões.

PALAVRAS-CHAVE: FIBRA DE BANANEIRA. ESPUMA DE POLIURETANO. COLCHÕES.

ABSTRACT

The growing evolution of environmental awareness stimulates the development of ecological products and the concern with the proper disposal of waste. Plant fibers, considered agricultural residues, become by-products widely used in the manufacture of materials and products, improving their mechanical properties, performance and cost reduction; besides the advantages such as biodegradability, renewable origin and wide availability. Brazil stands out in banana production being one of the largest producers in the world. Banana fiber has been widely used in the manufacture of various products, such as paper, handicrafts, furniture, agglomerated and composite panels, improving the mechanical properties of these. Another type of waste that brings a lot of concern in relation to the environmentally safe final disposal is the industrial one, standing out the polyurethane waste. The purpose of this work was to develop a composite of polyurethane foam, textile chips and banana fibers - AGFB, which has improved performance and durability, evaluated based on the tests established in ABNT NBR 13579-1, in relation to the agglomerate of foam - AG; product consisting of textile trimmings and polyurethane foam for use in the manufacture of mattresses. In the determination of the best composition of the composite, the percentage of 10% of banana fiber is the most indicated, however it was noticed that the selection of the flexible PU foam residues, in terms of the density and ash content of the original foam, should be in order that the density and hardness of the composite are adequate, enabling the 40% indentation force and dynamic fatigue tests to be performed. Thus, the results were not fully conclusive to attribute better performance and durability of the AGFB relative to AG for use in mattresses.

KEY WORDS: BANANA FIBER. POLYURETHANE FOAM. MATTRESS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática da reação de síntese do PU.....	21
Figura 2 – Representação esquemática das reações de expansão e de formação da poliuréia .	22
Figura 3 – Representação esquemática das reações de formação dos alofanatos e biuretos....	22
Figura 4 – Estrutura de domínios de poliuréia	23
Figura 5 – Blocos de AG	23
Figura 6 – Colchão de espuma fabricado com AG.....	24
Figura 7 – Pesagem da amostra para determinação da densidade.....	25
Figura 8 – Resiliômetro	26
Figura 9 – Placas metálicas utilizadas na compressão	26
Figura 10 – Máquina de indentação	27
Figura 11 – Deflexionadora	27
Figura 12 – Bananeira adulta.....	29
Figura 13 – Bainhas foliares.....	30
Figura 14 – Membranas da bainha foliar.....	34
Figura 15 – Classificação de compósitos de acordo com o reforço	35
Figura 16 – Aparas de bojo	37
Figura 17 – Aparas de espuma flexível de PU	38
Figura 18 – Triturador moinho de faca.....	38
Figura 19 – Mistura dos flocos	39
Figura 20 – Misturador helicoidal industrial	39
Figura 21 – Caixa moldadora e prensa	40
Figura 22 – Bloco de AG sendo desmoldado	40
Figura 23 – Bainhas foliares no moedor.....	41
Figura 24 – Fibras de bananeira desfiadas distribuídas no secador.....	42
Figura 25 – Fibras de bananeira secas	42
Figura 26 – Fibras de bananeira sendo cortadas.....	42
Figura 27 – Misturador helicoidal	43
Figura 28 – Bloco de AGFB no molde e pesos padrão	44
Figura 29 – AGFB 1- 20% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis	47
Figura 30 – AGFB 3- 20% de fibra e espuma flexível de PU.....	48
Figura 31 – AGFB 2- 40% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis	49
Figura 32 – AG rompido	50
Figura 33 – AGFB 4- 10% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis	52
Figura 34 – AGFB 5- 20% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis	53
Figura 35 – AGFB 4 deformado.....	55
Figura 36 – AGFB 5 deformado.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de referência para o AG	28
Tabela 2 – Matérias-primas utilizadas nas amostras da primeira fase	44
Tabela 3 – Matérias-primas utilizadas nas amostras da segunda fase.....	45
Tabela 4 – Resultados da primeira fase da pesquisa	50
Tabela 5 – Resultados da segunda fase da pesquisa.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABICOL – Associação Brasileira da Indústria de Colchões

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AG – Aglomerado de espuma

AGFB – Compósito de flocos de espuma de poliuretano, aparas têxteis e fibra de bananeira

CEASA-GO – Centrais de abastecimento de Goiás S/A

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FI – Força de Indentação

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

MDI – Difenilmetano Diisocianato

MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

NBR – Norma Brasileira

PLA – Ácido Polilático

PNRS – política Nacional de Resíduos Sólidos

PU – Poliuretano

TDI – Tolueno Diisocianato

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivo geral	18
1.2	Objetivos específicos.....	19
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Espuma Flexível de Poliuretano	20
2.2	Aglomerado de Espuma	24
2.3	Ensaio estabelecido para AG - norma ABNT NBR 13579-1	25
2.4	Descrição e Classificação Botânica da Bananeira.....	28
2.5	Composição Química da Fibra de Bananeira	31
2.6	Propriedades Mecânicas e Elásticas da Fibra de Bananeira	32
2.7	Extração da Fibra de Bananeira.....	33
2.8	Materiais Compósitos	34
2.9	Utilizações da Fibra de Bananeira em outros tipos de compósitos	36
3	DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA: PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	37
3.1	Materiais e métodos	37
3.1.1	Fabricação dos corpos de prova de AG da primeira fase da pesquisa	37
3.1.2	Fabricação dos corpos de prova de AGFB da primeira fase da pesquisa	41
3.1.3	Fabricação dos corpos de prova de AG e de AGFB da segunda fase da pesquisa	44
3.1.4	Realização dos ensaios	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	Análise da adesão e da homogeneidade dos componentes nos AGFB da primeira fase da pesquisa..	46
4.2	Resultados dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1 para o AG e para os AGFB da primeira fase da pesquisa.....	49
4.3	Análise da adesão e da homogeneidade dos componentes nos AGFB da segunda fase da pesquisa ..	52
4.4	Resultados dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1 para o AG e para os AGFB da segunda fase da pesquisa.....	53
5	CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A crescente evolução da consciência ambiental traduzida na preocupação com a preservação do meio ambiente e com a sustentabilidade estimula a prática de atividades industriais e desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos, por meio da Química Verde, também chamada de Química para o Desenvolvimento Sustentável, cujo conceito internacional é entendido como “o desenho, o desenvolvimento, a produção e o uso de produtos químicos e processos para reduzir ou eliminar o uso ou geração de substâncias nocivas à saúde humana e ao meio ambiente” (CGEE, 2010).

Um dos maiores desafios da sociedade moderna, segundo Jacobi e Besen (2011), é o equacionamento da geração excessiva de resíduos e a disposição final ambientalmente segura destes. Em 02 de agosto de 2010 foi sancionada a Lei 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, dispondo sobre princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes relativas à gestão integrada, ao gerenciamento de resíduos e às responsabilidades dos geradores e do poder público. Essa lei conceitua resíduos sólidos como sendo:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Assim, as pesquisas científicas para desenvolver materiais e produtos obtidos pelo aproveitamento de resíduos sólidos, principalmente os biodegradáveis, de origem renovável e com ampla disponibilidade, aumentam a cada dia.

O Brasil é privilegiado geograficamente por condições de clima e de relevo favoráveis ao cultivo de uma enorme diversidade de plantas e em grande quantidade, por sua vasta extensão territorial. Destaca-se na bananicultura sendo um dos maiores produtores mundiais. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2012), após a colheita da banana são gerados resíduos agrícolas do pseudocaule, folhas, engaço e frutos, esta recomenda utilizar esses resíduos como cobertura morta no solo para áreas de plantio da bananeira, pois combatem a erosão e melhoram as condições físicas do solo como aeração, temperatura, umidade e porosidade; porém a quantidade desses resíduos é muito grande e sua decomposição acaba poluindo o meio ambiente, favorecendo o desenvolvimento de biodeterioradores e animais peçonhentos, ocasionando problemas ambientais e fitossanitários. Segun-

do Souza *et al.* (2010), dados levantados por uma das maiores empresas produtoras de banana em Garuva - SC, para cada tonelada de bananas colhidas, cerca de 100 kg do fruto são rejeitados e aproximadamente quatro toneladas de resíduos agrícolas lignocelulósicos são gerados; sendo três toneladas de pseudocaules, 160 kg de engaços, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas. Normalmente os resíduos do pseudocaulo permanecem no local da colheita.

Segundo Xu *et al.* (2015), as fibras naturais, consideradas resíduos agrícolas, têm demonstrado ser nos últimos anos, uma substituição bastante viável para produtos não renováveis, caros e abrasivos. De acordo com Jandas, Mohanty e Nakay (2013), as fibras tornaram-se subprodutos amplamente utilizados na fabricação de materiais, melhorando a resistência, o desempenho e reduzindo o custo. A fibra de bananeira tem sido muito utilizada na fabricação de diversos produtos como papel, artesanato, móveis, painéis aglomerados, compostos (material composto por dois ou mais constituintes diferentes), melhorando suas propriedades.

Outro tipo de resíduo abundante é o advindo das atividades industriais. De acordo com Foizer *et al.* (2016), o poliuretano (PU) está dentre os polímeros mais consumidos no mundo, com cerca de 5% do mercado, sendo um dos produtos mais versáteis empregados em diversas áreas pela indústria. Segundo Maia Siqueira, Stramari e Folgueras (2004), o crescente uso desse polímero trouxe como consequência a preocupação com o destino final dos seus rejeitos, devido suas propriedades físico-químicas e seu longo tempo de decomposição, cerca de 150 anos. Assim, a reciclagem é uma alternativa viável para a destinação desse resíduo.

No Brasil, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Colchões – ABICOL (2016), existiam 164 fabricantes de colchões registrados, até novembro do referido ano. Essas fábricas geram uma grande quantidade de resíduos de espuma flexível de PU. A maioria utiliza esse resíduo na fabricação do AG (aglomerado de espuma), uma espuma de alta densidade e menor custo, que pode ser usada na fabricação de outros produtos. Segundo dados levantados por Silva (2012), na Indústria de Colchões CWS, 9000 kg de resíduos de espuma flexível de PU são gerados por mês e estão sendo aproveitados para fabricação de AG pela própria empresa. Em outro estudo, Carlesso, Conto e Polidoro (2016) identificaram que 1000 kg de resíduos de espuma semirrígida de PU são obtidos por mês da fabricação de 100 blocos de AG com 1,2 m³ cada e que esse resíduo também é aproveitado no processo produtivo dos blocos.

O problema a ser estudado é a relação entre a utilização de uma matéria-prima (fibra de bananeira) com a melhora do desempenho do AG, avaliado por ensaios relacionados à

resistência mecânica e elasticidade promovidos pela fibra e com o aumento da durabilidade do compósito.

Nesse contexto, o desenvolvimento de um compósito que aproveita resíduos de duas grandes atividades econômicas no Brasil contribui com a preservação do meio ambiente e com a diminuição do custo de produção de espuma de alta densidade.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é produzir um AGFB (compósito de flocos de espuma de poliuretano, aparas têxteis e fibra de bananeira), para ser utilizado na fabricação de colchões, que tenha melhor desempenho que o AG.

1.2 Objetivos específicos

- Preparação da fibra de bananeira natural para ser utilizada no compósito com a espuma de PU e aparas têxteis.
- Determinar a melhor composição do compósito para aplicação como espuma flexível.
- Caracterização dos compósitos em relação à resistência mecânica e à durabilidade avaliadas por ensaios de resiliência, força de indentação (FI), densidade, deformação permanente à compressão e fadiga dinâmica. Para isso, foram comparados os resultados desses ensaios, que estão estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1, para esses compósitos e para o AG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

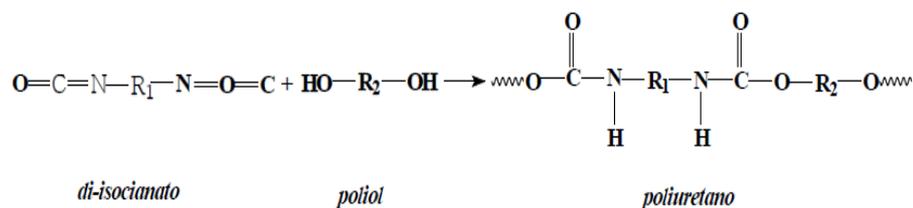
A preocupação com a qualidade dos colchões justifica-se por serem produtos destinados ao repouso humano, portanto estão diretamente envolvidos com a manutenção da saúde. Assim, o INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, autarquia federal vinculada ao MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, vislumbrou a necessidade de regulamentar a fabricação e importação de colchões produzidos com espumas flexíveis de PU, tornando compulsória a realização dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1, avaliando o desempenho e a durabilidade dessa matéria-prima.

O desenvolvimento de compósitos, com os objetivos de diminuir custo e melhorar propriedades mecânicas, desempenho e durabilidade, tem se difundido cada vez mais; bem como a utilização de fibras vegetais na composição destes, devido, principalmente, à origem renovável e ampla disponibilidade (VENTURA, 2009).

2.1 Espuma Flexível de Poliuretano

Poliuretano (PU) é um polímero que possui grupos uretanos, que se apresentam de forma não regular, em sua cadeia principal, não possuindo assim uma fórmula empírica representativa da macromolécula. É obtido da reação entre isocianatos com um álcool polifuncional, com formação de ésteres de ácido carbâmico (ligações uretano), podendo ser considerada como a reação de propagação da cadeia poliuretânica. Usualmente, representa-se o PU por suas unidades monoméricas principais, o di-isocianato e o polioliol, não sendo representados todos os tipos de ligações que efetivamente podem fazer parte da estrutura (Figura 1). É amplamente usado em espumas flexíveis e rígidas, pois pode ter uma variedade de densidade e dureza (CANGEMI; SANTOS; CLARO NETO, 2009).

Figura 1 – Representação esquemática da reação de síntese do PU



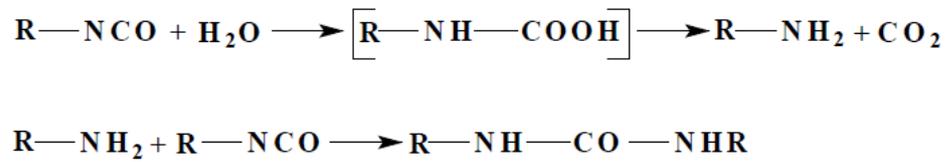
Fonte: CANGEMI; SANTOS; CLARO NETO, 2009

As espumas de PU podem ser definidas como uma classe de polímeros que durante a reação de polimerização apresentam dispersão de gás, formando células interligadas em uma estrutura tridimensional. As principais matérias-primas utilizadas na fabricação de espumas flexíveis de PU são os polióis poliéteres, os isocianatos como o tolueno diisocianato (TDI) e o difenilmetano diisocianato (MDI); catalisadores como o dioctoato de estanho II e as aminas terciárias como a trietilenodiamina e a N,N-dimetiletanolamina; surfactantes como os poliéter polisiloxanos, que estabilizam a espuma formada; água e agentes de expansão como acetona, gás carbônico e cloreto de metileno. As espumas flexíveis de PU possuem células abertas, permeáveis ao ar, são reversíveis à deformação e apresentam propriedades como maciez, firmeza e resiliência, que proporcionam conforto ao ser humano (VILAR, 2004).

As propriedades físicas dos materiais são aquelas que não envolvem modificação estrutural em nível molecular, dentre elas incluem-se as propriedades mecânicas, que são avaliadas por ensaios descritos em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para a espuma flexível de PU. Essas propriedades manifestam a capacidade dessa espuma em desenvolver deformações reversíveis e irreversíveis e resistir à fratura. Os ensaios baseiam-se em tensão-deformação, amplamente influenciadas pela temperatura (VILAR, 2004).

Na obtenção das espumas flexíveis de PU, paralelamente à reação de polimerização entre o isocianato e o poliól, ocorre a reação entre o isocianato e a água produzindo ácido carbâmico, que se decompõe em amina e dióxido de carbono, este atua como agente de expansão durante a reação de polimerização, sendo responsável pelo crescimento da massa polimérica e formação das células (Figura 2). Alternativamente, a amina reage com outra molécula de isocianato, produzindo uréia di-substituída responsável pela formação de poliuréia por meio de ligações de hidrogênio e gás carbônico (VILAR, 2004).

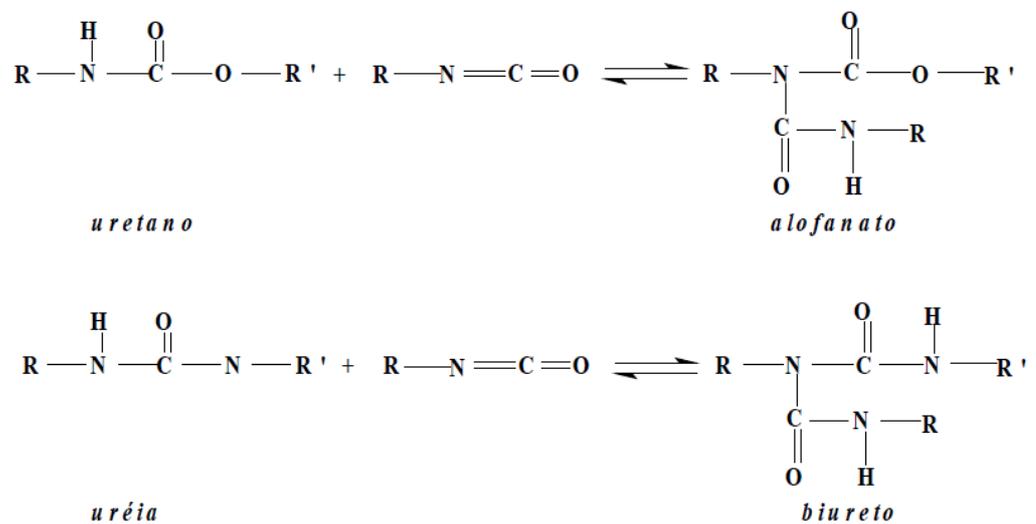
Figura 2 – Representação esquemática das reações de expansão e de formação da poliuréia



Fonte: VILAR, 2004

A reação de polimerização é exotérmica, assim ocorrem reações secundárias em que as ligações uretânicas reagem com os isocianatos formando ligações alofanatos, entre 120°C a 150°C e ligações de biuretos entre 10°C a 150°C (Figura 3), aumentando as ramificações e reticulações da matriz polimérica (SOARES, 2012).

Figura 3 – Representação esquemática das reações de formação dos alofanatos e biuretos



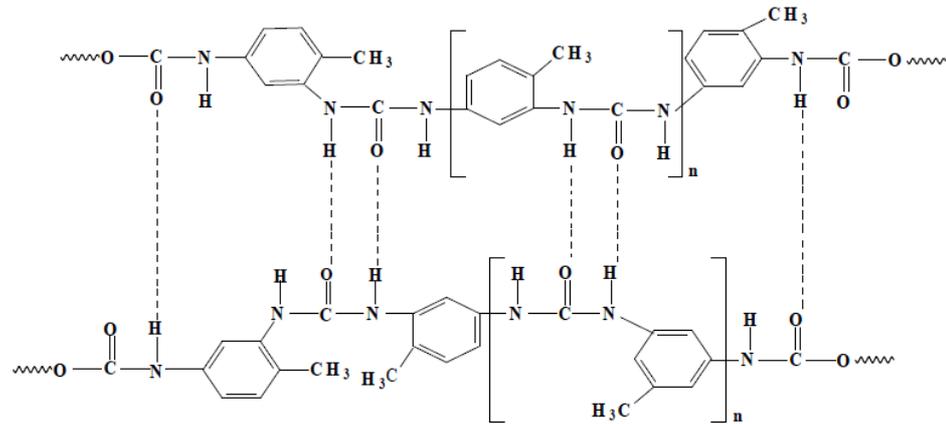
Fonte: SOARES, 2012

Devido às fortes interações entre as ligações uretânicas, segmentos rígidos polares são originados dentro de uma matriz flexível apolar, formada pela cadeia principal do polioliol.

A formação da poliuréia tem papel importante na formação da estrutura de células abertas e na separação das fases na matriz (Figura 4). O aumento desses segmentos rígidos

promove maiores dureza e resistência à tração, e conseqüentemente diminuição da elasticidade do polímero (VILAR, 2004).

Figura 4 – Estrutura de domínios de poliuréia



Fonte: VILAR, 2004

O AG (Figura 5) é obtido utilizando-se resíduos da indústria de poliuretano. Gera uma espuma de alta densidade e de baixo custo que pode ser laminada novamente e utilizada na fabricação de estofado, travesseiro, base de sustentação de colchão de mola, fabricação de colchão de espuma flexível de PU.

Figura 5 – Blocos de AG



Fonte: autoria própria, 2016

2.2 Aglomerado de Espuma

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2011) define AG como “material triturado, prensado e aglutinado, composto de flocos de espuma de poliuretano, podendo conter cascas de blocos de espuma, aparas têxteis e outros materiais oriundos da indústria de poliuretano”. Assim como, colchão de espuma flexível de PU é um “bem de consumo destinado ao repouso humano, constituído, parcial ou integralmente, por lâmina (s) flexível (eis) de poliuretano, devidamente revestido”.

Os colchões e colchonetes de espuma flexível de PU são regulamentados pelo INMETRO, através da Portaria 79 de 03 de fevereiro de 2011, cujo mecanismo de avaliação da conformidade utilizado é a certificação com foco no desempenho.

O uso do AG na fabricação de colchão (Figura 6) torna o produto mais barato, pois aproveita os resíduos gerados na fabricação da espuma, assim como as aparas têxteis. Segundo Conceição e Pacheco (2009), as aparas de espumas oriundas do processo produtivo são levadas para o setor de trituração e ensacadas para posteriormente darem origem ao bloco de AG, que é feito pela união dos flocos de espuma com a própria matéria prima de fabricação da espuma virgem (poliol + TDI). A mistura é colocada em um molde e posteriormente laminado, de acordo com as especificações necessárias. A norma ABNT NBR 13579-1 estabelece as propriedades e os ensaios para o AG utilizado na fabricação de colchões de espuma flexível de PU.

Figura 6 – Colchão de espuma fabricado com AG



Carlesso, Conto e Polidoro (2016) testaram as propriedades físicas e mecânicas de AG para colchão, segundo procedimentos e requisitos da norma ABNT NBR 13579-1, utilizando diferentes concentrações de flocos de espuma flexível de PU, aparas de espuma semirígida de PU e sobras de polioliol formulado; aglutinados com a mistura de polioliol, TDI e octoato de estanho II, como catalisador. Os resultados obtidos por eles demonstraram que as amostras atenderam aos requisitos da norma utilizada, que o AG é um produto economicamente viável e que quanto maior a quantidade de resíduos utilizados, menor o custo total do AG.

2.3 Ensaios estabelecidos para AG - norma ABNT NBR 13579-1

A norma ABNT NBR 13579-1 estabelece os requisitos e métodos de ensaios para AG obtidos parcial ou integralmente com espuma flexível de PU utilizados em colchões. Os ensaios realizados são:

- Densidade: segundo a norma ABNT NBR 8537 (2015), é determinada a densidade aparente expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3), cuja massa é mensurada numa balança calibrada (Figura 7).

Figura 7 – Pesagem da amostra para determinação da densidade



Fonte: Autoria própria, 2018

- Resiliência: o ensaio para resiliência, de acordo com a norma ABNT NBR 8619 (2015), mede o retorno da espuma à condição inicial após deformação. O ensaio consiste na queda de uma esfera de aço sobre o corpo de prova e na medida da altura máxima do ressalto dessa esfera num resiliômetro (Figura 8).

Figura 8 – Resiliômetro



Fonte: Autoria própria, 2018

- Deformação permanente à compressão: de acordo com a norma ABNT NBR 8797 (2015), mede a perda de espessura da espuma após compressão entre duas placas metálicas (Figura 9). O ensaio consiste na medição da diferença entre as espessuras inicial e final, após determinada compressão à temperatura, umidade relativa e tempo especificados.

Figura 9 – Placas metálicas utilizadas na compressão



Fonte: Autoria própria, 2018

- Força de indentação: segundo a norma ABNT NBR 9176 (2016), determina a força necessária para produzir uma compressão estabelecida numa máquina de indentação (Figura 10). O ensaio consiste em comprimir o corpo de prova em 40% de sua espessura inicial e medir a força necessária para atingir essa compressão, expressa em Newtons (N).

Figura 10 – Máquina de indentação



Fonte: autoria própria, 2018

- Fadiga dinâmica: de acordo com a norma ABNT NBR 9177 (2015), determina a perda em espessura e em força de indentação a 40%, simulando as perdas ocorridas sob as condições reais de uso. O corpo de prova é comprimido repetidamente (80.000 vezes) em uma deflexionadora (Figura 11); através da medição das espessuras inicial e final e das forças de indentação a 40% inicial e final, o resultado é expresso em perdas percentuais de espessura e de força de indentação a 40%

Figura 11 – Deflexionadora



Fonte: autoria própria, 2018

Na Tabela 1 são informados os valores de referências para o AG dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1.

Tabela 1 – Valores de referência para o AG

ENSAIO	REFERÊNCIA
Densidade (kg/m ³)	≥ 65
Deformação Permanente à Compressão a 50%	Máximo 25%
Força de Indentação a 40%	Mínimo 250 Newtons
Resiliência	Mínimo 25%
Perda de Força de Indentação a 40%	Máximo 35%
Perda de Espessura	Máximo 10%

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011

Como a espuma de PU utilizada na fabricação do AG apresenta características elásticas, porém propriedades mecânicas de força de indentação e resiliência com tendência à baixos valores, a fibra de bananeira pode agir como um reforço para melhorar essa propriedade.

2.4 Descrição e Classificação Botânica da Bananeira

A banana é originária do sudeste asiático e oeste do Pacífico. Tornou-se popular e de grande importância econômica na África, nas Américas e no sul do Pacífico, sendo uma das principais fontes de alimento para milhões de pessoas. Nos séculos XV e XVI, colonizadores portugueses começaram a plantação sistemática de bananais nas ilhas atlânticas do Brasil. Atualmente, é uma das frutas mais consumidas no mundo. Além da importância como fonte alimentar, é também utilizada como planta ornamental e produtora de fibra (FERREIRA *et al.*, 2016).

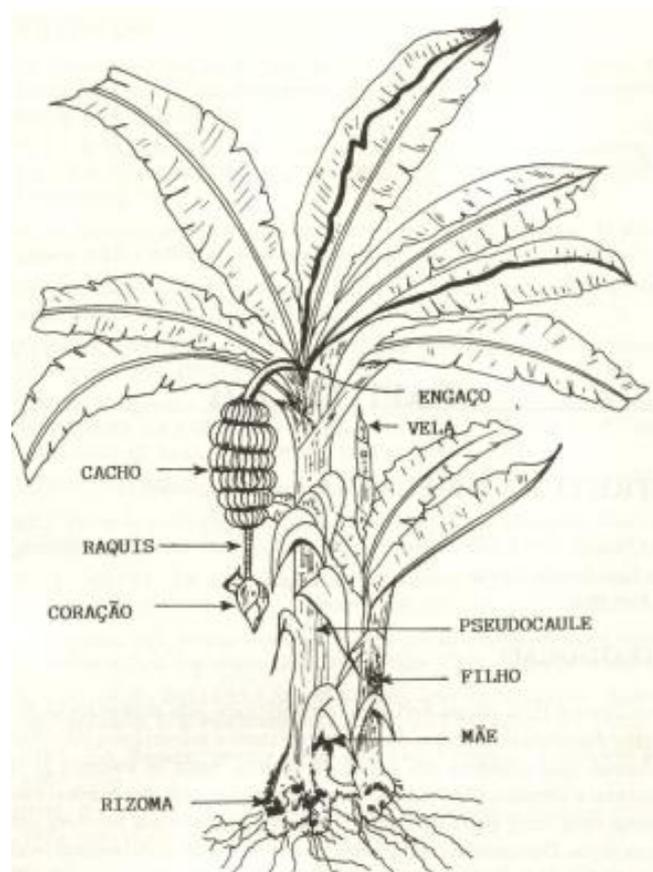
Segundo a EMBRAPA (2016), o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de banana, ocupando a quarta posição, atrás da Índia, China e Indonésia. Produziu cerca de

6.764.324 toneladas de banana/ano em 2016, sendo São Paulo, Bahia e Minas Gerais os principais estados produtores.

A bananeira é um vegetal herbáceo completo que pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Monocotyledoneae* e ordem *Zingiberales*, que inclui oito famílias, noventa e dois gêneros e cerca de 2.000 espécies. A família *Musaceae* compreende dois gêneros: *Ensete*, com seis espécies, e *Musa*, com aproximadamente 35 espécies. A classificação proposta por Cheesman em 1948 para o gênero *Musa* é aceita atualmente em todo mundo, baseia-se no número de cromossomos, ou seja, classificação por grupos genômicos. A maioria das cultivares de bananeira comestíveis existentes na América originaram-se das espécies *Musa acuminata*, de grupo genômico AA e *Musa balbisiana*, de grupo genômico BB. O subgrupo é utilizado para abranger um conjunto de cultivares originadas por mutação do mesmo genótipo. A bananeira do subgrupo maçã, cultivar utilizada neste trabalho, pertence ao gênero *Musa*, sendo triplóide AAB (FERREIRA *et al.*, 2016).

A bananeira adulta é constituída, basicamente, por raiz, rizoma, pseudocaule, bainha foliar, folhas e cacho, conforme ilustra a Figura 12.

Figura 12 – Bananeira adulta



Fonte: FERREIRA *et al.*, 2016

O cacho é composto pelas seguintes partes: engaço, ráquis, pencas de bananas e botão floral ou “coração”. O engaço ou pedúnculo da inflorescência é o alongamento do cilindro central do rizoma, que se inicia no ponto de fixação da última folha e termina na inserção da primeira penca. A continuação do engaço é denominada de ráquis, onde são inseridas as flores e inicia-se no ponto de inserção da primeira penca e termina no coração, que é um conjunto de flores masculinas ainda em desenvolvimento e suas respectivas brácteas. A penca é o conjunto de frutos reunidos pelos seus pedúnculos. Em razão dos novos perfilhos que surgem na base da planta-mãe, a bananeira é considerada uma cultura de ciclo (FERREIRA *et al.*, 2016).

De acordo com EPAGRI (2009), o pseudocaule resulta da união de 15 a 20 bainhas foliares (Figura 13) e termina com uma copa de folhas longas e largas com nervura central desenvolvida. Atinge dimensões variáveis entre 1,2 m a 8,0 m de altura, com diâmetro entre 10 cm a 50 cm. Possui estrutura resistente e é bastante fibroso. Dentro da copa emerge a inflorescência, de cor roxo-avermelhada, em cujas axilas nascem as flores. Cada grupo de flores forma um cacho com um número variável de frutos. A bananeira é caracterizada por tronco curto e subterrâneo denominado rizoma, que constitui um órgão de reserva em que se inserem as raízes (FERREIRA *et al.*, 2016).

Figura 13 – Bainhas foliares



Fonte: autoria própria, 2017

2.5 Composição Química da Fibra de Bananeira

O pseudocaule da bananeira apresenta várias substâncias nas quais destacam-se: 5-hidroxitriptamina, ácido caprílico de ação fungicida e pesticida; canferol de propriedades antibacterianas; ácido gálico, serotonina, taninos, leucodelfinidina, leucocianidina, mucilagens, dopamina, noradrenalina, desoxixantimidina, nitrato de potássio e de magnésio, aminofenóis, fibras, carboidratos, clorofila, cálcio, fósforo, α tocoferol, ácido ascórbico, 3-caroteno, niacina e sílica. A seiva presente no pseudocaule, que age na formação de colágeno, é ácida e possui aminoácidos, ferro, proteínas, protoantocianidinas, pigmentos polifenólicos, potássio, arabinonoxilanas, pectina e ácido urônico (LANS *et al.*, 2000).

Na fibra encontram-se substâncias com ação antimicrobiana e antifúngica como taninos, remanescentes do pseudocaule, e furfural, este, na fibra seca, origina-se da oxidação de açúcares. Estudo realizado por Rodríguez-Córdova *et al.* (2016), identificou que o furfural limitou o crescimento de fungos filamentosos pertencentes ao gênero *Penicillium*. De acordo com Castro *et al.* (2004), os taninos possuem ação antimicrobiana. Num estudo sobre a avaliação da letalidade e atividade antimicrobiana de extratos de folhas de *Spondias mombin aff. tuberosa*, Silva *et al.* (2015) identificaram nos taninos ações bactericidas, fungicidas, antivirais e sequestradora de radicais livres. As atividades antimicrobianas e antifúngicas dessas substâncias presentes na fibra ajudam a proteger o compósito da contaminação com esses microorganismos.

Moreira e Fageria (2009) encontraram em amostras secas e moídas do pseudocaule de bananeira *Musa sp* os seguintes macronutrientes: nitrogênio, potássio, sódio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, ferro e zinco. Li *et al.* (2010) encontraram os seguintes monossacarídeos no pseudocaule da bananeira seco: 71,76% de glicose, 7,34% de arabinose, 2,02% de galactose, 11,20% de xilose, 0,58% de manose e 7,10% de ácido galacturônico.

Segundo Ferreira *et al.* (2016), a fibra de bananeira é produzida a partir das bainhas foliares extraídas do pseudocaule, que equivale a seu tronco. Em análises da composição química da fibra de bananeira do gênero *Musa*, as substâncias mais encontradas são hemicelulose (hemicelulose + α -celulose) e lignina, havendo grande variação entre os valores de cada componente nos estudos consultados. De acordo com Satyanarayana, Guimarães e Wypych (2007), esta grande variação na composição química das fibras vegetais ocorre porque depende de fatores como: espécie e variedade da planta, tipo de solo utilizado no cultivo, condições climáticas, parte da planta da qual a fibra foi extraída, idade da planta e metodologia utilizada

nas análises. Cordeiro *et al.* (2010) encontraram 11,61 % de lignina, 43,25 % de holocelulose, 13,54 % de cinzas, 23,14% de extrativos, 8,46 % de umidade. Guimarães *et al.* (2014) encontraram em fibras de *Musa sp* 15,7 % de lignina, 13,8 % de cinzas, 51,9 % de holocelulose e 18,6 % de extrativos.

2.6 Propriedades Mecânicas e Elásticas da Fibra de Bananeira

Fowler, Hughes e Elias (2006) afirmam que a estrutura das fibras vegetais é formada por milhões de unidades fibrosas denominadas de microfibrilas, que estão dispostas de forma helicoidal dentro da parede celular, formando ângulo microfibrilar entre o seu enrolamento e o eixo da fibra. Esses autores afirmam também que quanto maior o teor de celulose e quanto menor o ângulo microfibrilar, maior a resistência da fibra.

Num estudo comparativo entre a fibra de bananeira (do gênero *Musa*) tratada quimicamente e não tratada, Jandas, Mohanty e Nakay (2013) avaliaram suas propriedades mecânicas. O estudo utilizou um cordão de fibra não tratada e outros cordões de fibra tratados com aminopropiltriétoxissilano e com bis-(3-trietoxisililpropil) tetrasulfano. Os resultados demonstraram que o tratamento químico melhorou a resistência à tração, o módulo de tensão e o alongamento à ruptura, porém mesmo a fibra sem tratamento pode melhorar as propriedades mecânicas de materiais. O estudo também comparou compósito feito de ácido poliláctico (PLA) e fibra de bananeira sem tratamento e o PLA sozinho, o resultado demonstrou aumento no módulo de tensão do compósito.

Em outro estudo, Xu *et al.* (2015) avaliaram o efeito sobre as propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas da extração química, enzimática e mecânica da fibra de bananeira *Musa sp*. As propriedades mecânicas foram correlacionadas com a morfologia. A fibra extraída quimicamente apresentou estabilidade térmica e resistência à tração maiores, devido ao arranjo mais ordenado de celulose e de lignina e baixa concentração de hemicelulose, que possui natureza frágil e amorfa. Na fibra extraída mecanicamente os resultados para essas duas propriedades foram ligeiramente inferiores aos da fibra extraída quimicamente. Devido a maior concentração de celulose, a fibra extraída mecanicamente apresentou maior Módulo de Young (Módulo de Elasticidade) que as fibras que passaram por extração química e enzimática. O módulo de elasticidade, correlacionado com os resultados obtidos para resistência à tração e alongamento, demonstrou que a fibra extraída mecanicamente tem potencial aplicação

em compósitos para melhoramento das propriedades mecânicas, além de a extração mecânica ser o método mais ambientalmente correto que extração química e enzimática.

2.7 Extração da Fibra de Bananeira

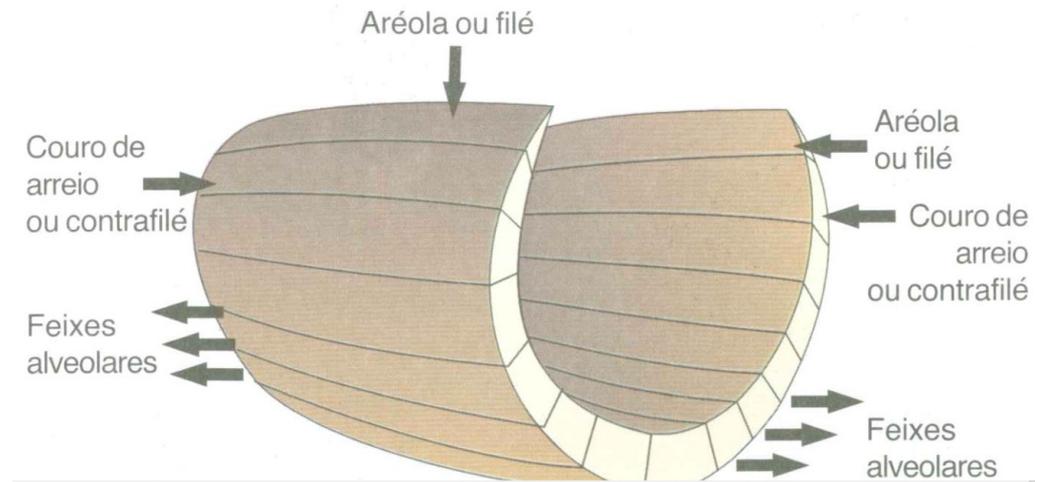
O aproveitamento do pseudocaule da bananeira para utilização das fibras, de acordo com EPAGRI (2009), requer técnicas apropriadas de seleção, coleta, extração, tratamento, secagem e armazenamento. Devem ser coletadas plantas sadias, com troncos robustos e em condições que favoreçam a diminuição da umidade como: coletar em período não chuvoso, em horários mais quentes e realizando-se o corte três palmos acima do chão. Após a coleta, os pseudocaulos devem ser mantidos na posição vertical com a parte inferior em contato com o chão e em local arejado, protegido de umidade.

As fibras podem ser obtidas de maneiras diferentes conforme o uso. As bainhas foliares são separadas manualmente podendo ser feito um corte longitudinal superficial para facilitar a abertura e as bordas são retiradas.

Segundo Xu *et al.* (2015), as fibras da bananeira são encontradas em maior quantidade nas bainhas foliares mais externas, que são mais grossas e utilizadas quando é necessário promover maior resistência ao material. Em seu estudo, os autores obtiveram as fibras utilizando uma máquina decortadora composta por rolos raspadores equipados com facas contundentes por onde passavam as bainhas foliares.

De acordo com EPAGRI (2009), as fibras também podem ser obtidas manualmente com cortes longitudinais retirando-se as extremidades com as mãos, pois é muito fina; com cortes longitudinais da base para a ponta, extraem-se as segundas membranas laterais e os feixes alveolares, as membranas mais internas e mais espessas, também são retiradas com cortes longitudinais cujo sentido depende do tipo de uso do material (Figura 14).

Figura 14 – Membranas da bainha foliar



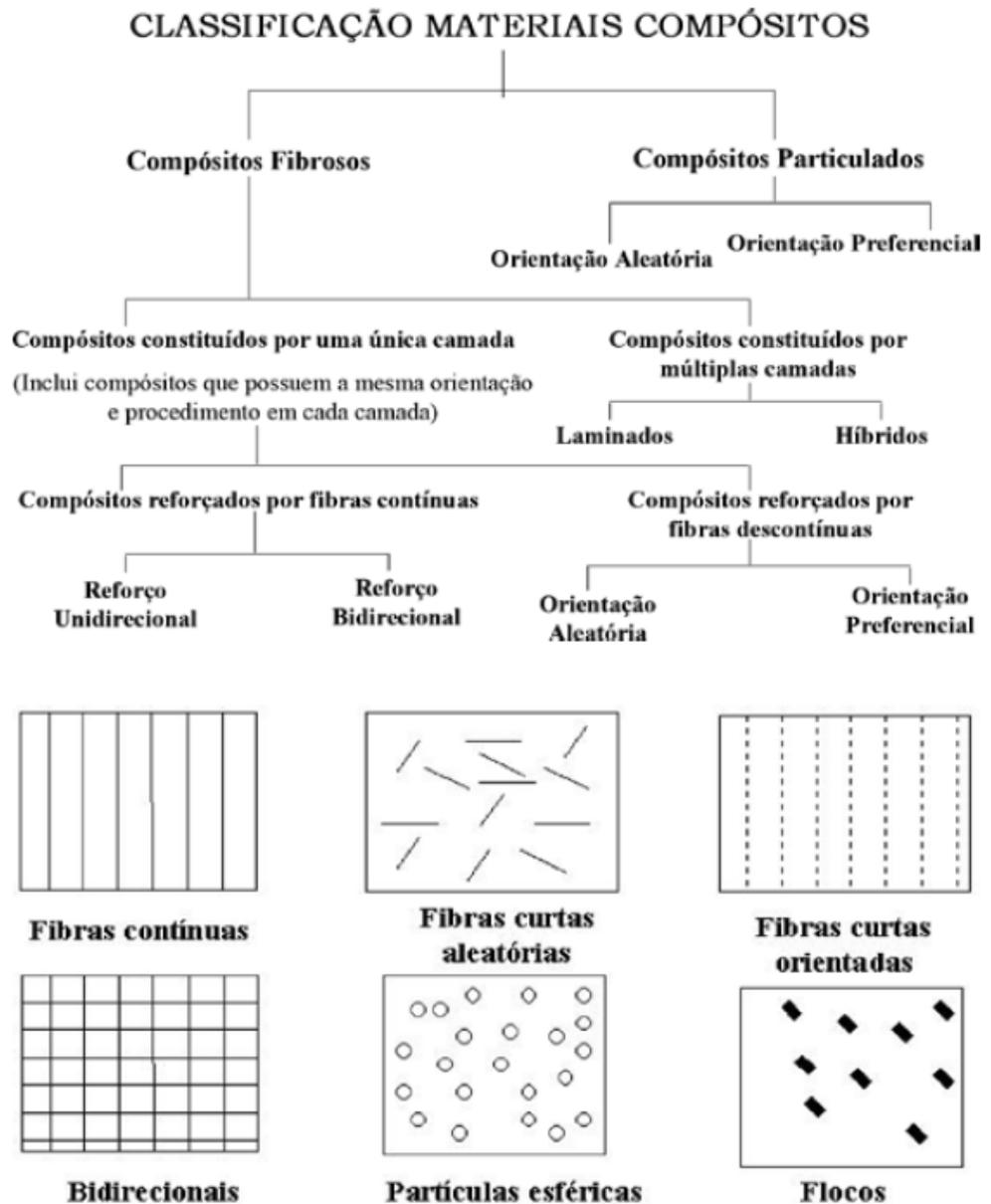
Fonte: EPAGRI, 2009

O tratamento e a secagem ocorrem de acordo com a utilização das fibras. Normalmente a secagem é natural. Quando se deseja um material claro, é recomendada a secagem ao sol. A secagem à sombra em local ventilado proporciona um material mais escuro. O armazenamento das fibras secas pode ser feito embalado em jornal e colocado em sacolas plásticas (EPAGRI, 2009).

2.8 Materiais Compósitos

Segundo Ventura (2009), compósito é um material composto por dois ou mais constituintes diferentes. A fabricação deste combina duas fases (matriz e reforço) para dar origem a um material com melhores propriedades mecânicas e desempenho. Os mais usuais são formados por um reforço de fibra embutida numa matriz polimérica. São classificados pelo material que forma a matriz, que é a fase contínua e envolve a outra, chamada reforço ou fase dispersa. As propriedades do compósito dependem das características físicas dos constituintes, bem como de suas quantidades e da geometria da fase dispersa (Figura 15).

Figura 15 – Classificação de compósitos de acordo com o reforço



Fonte: VENTURA, 2009

A demanda por novas tecnologias com maior resistência mecânica, aliada a crescente preocupação com o meio ambiente, reaproveitamento de resíduos e redução no custo de produção, estimularam a utilização das fibras naturais na fabricação de compósitos. Assim, os colchões e estofados fabricados com AGFB são produtos bastante promissores.

2.9 Utilizações da Fibra de Bananeira em outros tipos de compósitos

Guimarães *et al.* (2014) aproveitaram a fibra de bananeira na produção de painéis de madeira aglomerada e avaliaram o efeito de tratamentos químicos nas fibras e a influência nas propriedades químicas, densidade básica e nas propriedades mecânicas desses painéis aglomerados. Obtiveram os seguintes resultados: os tratamentos químicos não afetaram as propriedades de flexão estática dos painéis e diminuíram a resistência da ligação interna, o tratamento com o hidróxido de sódio aumentou a densidade básica.

Demarchi (2010) desenvolveu uma placa de revestimento para absorção acústica com fibra de bananeira em diferentes concentrações. O estudo concluiu que as placas apresentaram excelente desempenho para absorção acústica, após ensaio em tubo de impedância, quando comparado com outras placas fabricadas com fibra de coco, lã de vidro, espuma Sonex e lã de rocha e quanto maior a concentração da fibra de bananeira, melhor o desempenho.

Guimarães (2010) fabricou compósitos biodegradáveis utilizando amido de milho, torta de mamona, glicerina, glicerol puro para análise e fibras de bananeira e de bagaço de cana-de-açúcar. Os compósitos foram preparados por termo-moldagem e compressão. Os resultados obtidos foram que a quantidade máxima de fibra utilizada foi de 35% e que os compósitos com fibra de bagaço de cana-de-açúcar e glicerina apresentaram melhores propriedades mecânicas que os demais compósitos.

3 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA: PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1 Materiais e métodos

Neste trabalho foram produzidos compósitos (AGFB), para serem utilizados principalmente na fabricação de colchões, que proporcionem melhor desempenho e durabilidade com menor custo, comparados ao AG, produto já utilizado na fabricação destes. Para isso, foi necessário conhecer o processo de fabricação do AG e metodologia para realização e interpretação dos ensaios descritos na norma ABNT NBR 13579-1, assim como o estudo das matérias-primas utilizadas.

3.1.1 Fabricação dos corpos de prova de AG da primeira fase da pesquisa

Para a realização deste trabalho, foi feita uma visita técnica numa fábrica de AG no município de Goiânia - GO, Renascer Indústria e Comércio, a fim de se conhecer todo processo produtivo. O bloco de AG, para obtenção dos corpos de provas, foi produzido nessa fábrica.

Foram utilizadas aparas de bojo de sutiã (espuma flexível de PU + fibra têxtil) (Figura 16) e aparas de espuma flexível de PU (Figura 17) na fabricação do bloco de AG. Essas aparas foram trituradas separadamente em um triturador tipo moinho de faca com peneira de furos com diâmetro de 5,0 cm (fabricado pela própria empresa), adquirindo formato de flocos (Figura 18).

Figura 16 – Aparas de bojo



Fonte: autoria própria, 2016

Figura 17 – Aparas de espuma flexível de PU



Fonte: autoria própria, 2016

Figura 18 – Triturador moinho de faca



Fonte: autoria própria, 2016

Os flocos de espuma e os de bojo foram pesados e colocados em uma caixa para uma prévia mistura (Figura 19). Através de um exaustor, os flocos passaram para um misturador helicoidal industrial (fabricado pela própria empresa) (Figura 20), onde foi adicionada a mistura aglutinante, composta por 0,12 kg de octoato de estanho II (Kosmos® 29, marca Evonik, concentração: > 95%), que foi misturado previamente com 8,0 kg de polioliol (Voranol™ 3011, marca Dow), em seguida, estes foram misturados a 4,0 kg de TDI 80/20 (nome químico: tolueno-2,4-diisocianato ~ 80% e tolueno-2,6-diisocianato: ~ 20%, marca: Interbrasil).

Figura 19 – Mistura dos flocos



Fonte: autoria própria, 2016

Figura 20 – Misturador helicoidal industrial



Fonte: autoria própria, 2016

O tempo de funcionamento do misturador foi de um minuto. A mistura (calculada para densidade 70) foi despejada numa caixa moldadora padronizada para um bloco de 1,90 m de comprimento, 1,40 m de largura e 0,45 m de altura. Uma placa e uma prensa com 2000 kg foram colocadas sobre o material (Figura 21). Após duas horas de prensagem, o bloco de AG foi retirado do molde (Figura 22).

Foi utilizada uma laminadora para cortar os corpos de prova: superfície superior do bloco, meio e superfície inferior. Os corpos de prova ficaram com 38 cm de largura, 38 cm

de comprimento e 5 cm de altura para adequação aos equipamentos utilizados nos ensaios físicos, seguindo as normas ABNT NBR 8537 – determinação da densidade, ABNT NBR 9176 – determinação da força de indentação e ABNT NBR 9177 – determinação da fadiga dinâmica e com 10 cm de largura, 10 cm de comprimento e 5 cm de altura para realização da resiliência, conforme ABNT NBR 8619 e da deformação permanente à compressão, segundo ABNT NBR 8797; em espuma flexível de PU.

Figura 21 – Caixa moldadora e prensa



Fonte: autoria própria, 2016

Figura 22 – Bloco de AG sendo desmoldado



Fonte: autoria própria, 2016

3.1.2 Fabricação dos corpos de prova de AGFB da primeira fase da pesquisa

Os blocos de AGFB foram produzidos no laboratório da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia – GO. A primeira investigação foi em relação à quantidade de fibra de bananeira que melhor se adequaria, então foram fabricados compósitos utilizando-se 20% e 40% de fibra obtidas de cultivares de bananeira maçã coletadas no município de Itaberaí - GO.

O corte para retirada dos pseudocaules foi feito três palmos acima do chão para evitar umidade. As bainhas foliares foram retiradas manualmente com cortes longitudinais até chegar ao bulbo interno, que foi desprezado por não conter muita fibra. Esses procedimentos foram realizados conforme o boletim didático do curso profissionalizante de extração e tratamento da fibra de bananeira da EPAGRI (2009).

As bainhas foliares passaram por um moedor elétrico de cana (marca Vencedora Maqtron, modelo 721 turbo) para retirada do caldo (Figura 23) e foram desfiadas manualmente com garfos para acelerar a secagem das fibras.

As fibras foram distribuídas em um secador de fabricação própria (Figura 24), secas naturalmente por 32 dias sem exposição direta ao sol e sem contato com o solo (Figura 25). Depois foram cortadas em tiras de aproximadamente 10 cm de comprimento com faca e com guilhotina (Figura 26).

Figura 23 – Bainhas foliares no moedor



Fonte: autoria própria, 2017

Figura 24 – Fibras de bananeira desfiadas distribuídas no secador



Fonte: autoria própria, 2017

Figura 25 – Fibras de bananeira secas



Fonte: autoria própria, 2017

Figura 26 – Fibras de bananeira sendo cortadas



Fonte: autoria própria, 2017

O processo produtivo foi similar ao da fábrica de AG visitada, porém em menor quantidade para adequação à capacidade do maquinário utilizado. As matérias-primas foram as mesmas utilizadas no bloco de AG, além da fibra de bananeira.

Os flocos de espuma, os de bojo e a fibra de bananeira foram pesados e colocados no misturador helicoidal (Figura 27), fabricado pela própria Escola de Agronomia, para uma prévia mistura. Os componentes da mistura aglutinante também foram pesados e vertidos no misturador que permaneceu em funcionamento por um minuto. A mistura foi despejada num molde de madeira fabricado com 52 cm de comprimento, 40 cm de largura e 100 cm de altura. A prensagem foi feita levando-se em consideração a área do bloco utilizando-se 162,5 kg, ou seja, 13 pesos padrão de 12,5 kg cada (Figura 28), distribuídos sobre os blocos no molde para reproduzir a mesma prensagem realizada na indústria. Cada bloco ficou dois dias sendo prensado. O molde foi revestido com óleo de soja antes que a mistura fosse nele colocada para facilitar a retirada dos blocos do molde, após a prensagem. A quantidade de matérias-primas utilizadas para cada tipo de AGFB está informada na Tabela 2. Os corpos de prova dos AGFB também foram obtidos utilizando-se uma laminadora e ficaram com as mesmas dimensões dos de AG.

Figura 27 – Misturador helicoidal



Fonte: autoria própria, 2017

Figura 28 – Bloco de AGFB no molde e pesos padrão



Fonte: autoria própria, 2017

Tabela 2 – Matérias-primas utilizadas nas amostras da primeira fase

Compósitos	Matérias-primas					Poliol (kg)
	Espuma (kg)	Bojo (kg)	Fibra (kg)	Octoato estanho II (kg)	TDI (kg)	
AGFB 1	2,827	4,241	0,785	0,009	0,314	0,628
AGFB 2	2,513	3,770	1,570	0,009	0,314	0,628
AGFB 3	7,068	-	0,785	0,009	0,314	0,628
AG	40	60	-	0,120	4	8

Fonte: autoria própria, 2017

3.1.3 Fabricação dos corpos de prova de AG e de AGFB da segunda fase da pesquisa

Os blocos de AG e AGFB foram produzidos no laboratório da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, em Goiânia – GO. Foram fabricados AGFB utilizando-se 10% e 20% de fibra de bananeira.

O AG nesta fase da pesquisa foi fabricado em pequena escala para ser comparado com o AG fabricado em escala industrial da primeira fase.

As fibras de bananeira utilizadas nos blocos de AGFB foram obtidas de cultivares de bananeiras maçã coletadas no município de Goiânia - GO. O corte dos pseudocaules, retirados das bainhas foliares, desfiamento e secagem natural das fibras foram realizados do mesmo modo que os AGFB da primeira fase. As fibras foram cortadas manualmente com tesouras em tiras de aproximadamente 5 cm de comprimento.

O processo produtivo de todas as amostras foi igual ao realizado para os AGFB da primeira fase; apenas o tempo de prensagem foi reduzido para 2 horas cada bloco. A quantidade de matérias-primas utilizadas está informada na Tabela 3. Os corpos de prova destes AGFB e AG também foram obtidos utilizando-se uma laminadora e ficaram com as mesmas dimensões dos anteriores.

Tabela 3 – Matérias-primas utilizadas nas amostras da segunda fase

Compósitos	Matérias-primas					
	Espuma (kg)	Bojo (kg)	Fibra (kg)	Octoato esta- nho II (kg)	TDI (kg)	Poliol (kg)
AGFB 4	5,968	1,492	0,392	0,009	0,314	0,628
AGFB 5	5,654	1,413	0,785	0,009	0,314	0,628
AG	6,282	1,570	-	0,009	0,314	0,628

Fonte: autoria própria, 2018

3.1.4 Realização dos ensaios

Os ensaios foram realizados no Laboratório Plumatex localizado em Anápolis – GO, com a utilização dos seguintes equipamentos: balança (marca Toledo, modelo 90940/4), estufa (marca Fanem, modelo 520/2C), termo-higrômetro digital (marca Cotronic, modelo 0114), resiliômetro (marca Prodelin), máquina de indentação (marca Emic, modelo DL 2000), paquímetro (marca Shan, modelo SR44), escala calibrada (marca Stanley, 60 cm), deflexionadora (marca Schmuziger, modelo deflex 10 NA) e laminadora (marca Schmuziger, modelo VL500).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As fibras utilizadas nos blocos de AGFB foram obtidas de cultivares de bananeira maçã, que além de ser a espécie mais cultivada em Goiás, 5.257,53 toneladas/ano, de acordo com a divisão técnica do CEASA - GO (2015), apresenta características muito favoráveis à extração de maior quantidade de fibra como, altura e circunferência do pseudocaule. Mendonça *et al.* (2013) avaliaram o crescimento, o desenvolvimento e a produção de 23 genótipos de bananeiras em Goiânia – GO. Nesse estudo, a cultivar maçã apresentou porte médio com altura média de 2,32 metros, o que facilita a colheita e os tratos culturais, haja vista que altura muito elevada possibilita tombamento da planta em decorrência de ventos fortes e propicia ataques de parasitas. Nesse mesmo estudo, na avaliação da circunferência do pseudocaule, que está relacionada ao vigor da planta, sua capacidade de sustentação do cacho e suscetibilidade ao tombamento, a bananeira maçã apresentou maior média dentre as cultivares estudadas com 64,34 cm.

4.1 Análise da adesão e da homogeneidade dos componentes nos AGFB da primeira fase da pesquisa

Na fabricação dos AGFB; compósitos fibrosos, constituídos por uma única camada, reforçados por fibras curtas, descontínuas e de orientação aleatória (de acordo com a Figura 15), que além dos flocos de espuma e das aparas têxteis, tem-se a fibra de bananeira, também ocorre uma adesão mecânica entre a mistura aglutinante e a fibra. Essa mistura é formada pela adição do poliol, previamente misturado ao octoato de estanho II ao TDI, sob agitação, cuja reação química está representada na Figura 1, é uma reação exotérmica entre um isocianato (TDI) e um álcool (poliol) formando uretana; o octoato de estanho II é um catalisador. A função do TDI é reagir com o poliol (reação de polimerização), promovendo a adesão mecânica entre os flocos de espuma e as aparas têxteis. Assim, a mistura aglutinante preenche a superfície da fibra de bananeira, que encontra-se porosa pela secagem a que foi submetida, ocorrendo então a migração desta pelos poros e adesão com os componentes lignocelulósicos presentes na fibra.

A Figura 29 ilustra o AGFB 1 (corpo de prova com 38 cm de largura, 38 cm de comprimento e 5 cm de altura). Durante a mistura das matérias-primas, observou-se que as aparas têxteis facilitaram a distribuição da fibra de bananeira no compósito, devido à anisotropia, característica de uma substância em que determinada propriedade física varia com a direção. O AGFB 1 é um compósito híbrido, pois possui fibra têxtil e fibra de bananeira em sua composição. Como as fibras usadas na manufatura são de origem natural e sintética, finas e alongadas, as mesmas seguem seu auto alinhamento molecular. Segundo Callister Jr. (2002), os compósitos híbridos apresentam características anisotrópicas, bem como maior resistência ao impacto. Neste compósito, percebeu-se que a adesão foi efetiva entre os flocos de espuma, as aparas têxteis e a espuma.

No AGFB 3 (Figura 30) (corpo de prova com 38 cm de largura, 38 cm de altura e 5 cm de espessura) a adesão entre os flocos de espuma e a fibra de bananeira foi mais coesa que no AGFB 1, em que usou-se a mesma quantidade de fibra, mas a distribuição das fibras não foi tão homogênea quanto no AGFB 1, pela ausência das aparas têxteis. Na operação de mistura no misturador, observou-se que a fibra de bananeira aglomerou-se mais em alguns locais que em outros, pois o AGFB 3 não é híbrido, assim, segundo Callister Jr. (2002), os compósitos reforçados com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente apresentam características isotrópicas, ou seja, característica em que propriedades físicas independem da direção considerada.

Figura 29 – AGFB 1- 20% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis



Fonte: autoria própria, 2017

Figura 30 – AGFB 3- 20% de fibra e espuma flexível de PU



Fonte: autoria própria, 2017

A Figura 31 ilustra o AGFB 2 (corpo de prova com 38 cm de largura, 38 cm de altura e 5 cm de espessura), que não apresentou adesão e homogeneidade satisfatórias entre os três componentes (fibra de bananeira, flocos de espuma e aparas têxteis). O excesso de fibra se aglomerou em determinados locais e comprometeu a adesão destas no compósito.

De acordo com Ashori (2008), devido ao caráter hidrofílico da celulose, a interface de adesão com a matriz polimérica fica enfraquecida afetando a dispersão das fibras, que tendem a formar aglomerados por ligações de hidrogênio, aumentando a absorção de umidade com consequente entumescimento do compósito e presença de poros na interface do material.

Segundo Martin e Mattoso (2000), os extrativos presentes nas fibras vegetais como ceras e gorduras podem interferir na aderência entre a matriz e o reforço. Portanto 40% de fibra de bananeira é uma quantidade excessiva, que inviabiliza a produção do compósito.

Figura 31 – AGFB 2- 40% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis



Fonte: autoria própria, 2017

4.2 Resultados dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1 para o AG e para os AGFB da primeira fase da pesquisa

Os corpos de prova foram produzidos em diferentes locais, dependendo da fase da pesquisa. Na primeira fase, o AG foi produzido na Renascer Indústria e Comércio e os AGFB com 20% e com 40% de fibra de bananeira no laboratório da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. O AGFB 3 foi produzido sem aparas têxteis para ser comparado com o AGFB 1, em que há fibra têxtil. A Tabela 4 mostra os resultados dos ensaios das amostras desta fase.

Tabela 4 – Resultados da primeira fase da pesquisa

Ensaio	Amostras				
	Referência	AGFB 1	AGFB 2	AGFB 3	AG
Densidade (kg/m ³)	≥ 65	89,89	85,98	108,71	65,59
DPC a 50% (%)	Máx. 25	8	6	10	6
FI a 40% (N)	Mín. 250	NR*	NR	NR	258
Resiliência (%)	Mín. 25	21	30	37	32
	Máx. 35% de perda de FI a 40% e máx. de 10% de perda de espessura				NR
FD (%)		NR	NR	NR	
*Não realizado					

Fonte: autoria própria, 2018

- a) AG produzido na empresa Renascer Indústria e Comércio (espuma flexível de PU e aparas têxteis)

A densidade, a resiliência, a deformação permanente à compressão e a força de indentação a 40 %, atenderam ao padrão, porém não foi possível a determinação da fadiga dinâmica, pois a amostra não suportou a compressão necessária de 80.000 ciclos para realizar o ensaio, rompendo-se, conforme ilustrado na Figura 32. Assim a espessura e a força de indentação a 40% não puderam ser medidas.

Figura 32 – AG rompido



Fonte: autoria própria, 2018

- b) AGFB 3 (espuma flexível de PU + 20 % de fibra de bananeira)

Os resultados para densidade, resiliência e deformação permanente atenderam ao padrão. Não foi possível realizar o ensaio de força de indentação a 40 %, provavelmente pela

dureza da amostra, que embora não tenha sido quantificada por ser um ensaio não estabelecido para AG, o equipamento não atingiu força suficiente para comprimir a amostra na espessura designada. A alta dureza pode ser em decorrência ao elevado período de prensagem do bloco, que foi diminuído em experimentos posteriores para 2 horas. Sem o resultado da força de indentação a 40% não é possível determinar a fadiga dinâmica.

c) AGFB 1 (espuma flexível de PU + 20 % de fibra de bananeira + aparas têxteis)

A resiliência está relacionada ao conforto da espuma, quanto mais resiliente, maior o conforto. Nesta amostra a resiliência está abaixo do padrão. Também não foi possível, nesta amostra, determinar a força de indentação a 40% e a fadiga dinâmica, provavelmente devido a dureza do compósito.

d) AGFB 2 (espuma flexível de PU + 40 % de fibra de bananeira + aparas têxteis)

Os resultados para densidade, resiliência e deformação permanente atenderam ao padrão. Assim como nos outros AGFB, a força de indentação a 40% e a fadiga dinâmica não foram realizadas pela provável dureza da amostra.

De acordo com Vilar (2004), a quantidade de matéria-prima por m³ implica o resultado da densidade, assim quanto maior a densidade, mais matéria-prima. Ela está relacionada ao suporte de carga por determinado tempo sem que ocorra a deformação permanente, assim quanto maior a densidade, menor a deformação permanente à compressão, maior a durabilidade da espuma e maior a resiliência. Diante dos resultados obtidos na primeira fase da pesquisa, conforme Tabela 4, os resultados das amostras desta fase da pesquisa apresentam os resultados conforme a relação estabelecida na literatura consultada, com exceção da resiliência do AGFB 1, pois como a relação proporção fibra sintética/espuma se manteve constante (1,5) e a relação fibra bananeira/fibra sintética guardou uma relação de 0,185 e 0,416, para os corpos de prova AGBF 1 e AGBF 2, respectivamente, percebe-se que a fibra de bananeira exerce uma influência positiva na propriedade mecânica resiliência para o compósito ABGF 2, que tem 50% a mais de fibra de bananeira em relação ao compósito AGBF 1. Sem a determinação da FI a 40% e da fadiga dinâmica, que simula o uso real da espuma, não há dados suficientes para concluir que os AGFB melhorem o desempenho e durabilidade do AG.

Foi necessária uma segunda fase em que novos AGFB foram produzidos utilizando-se menos aparas têxteis e mais flocos de espuma e foi diminuído para 2 horas o tempo de prensagem do bloco, almejando-se reduzir a dureza das amostras, para que os ensaios de força de indentação e fadiga dinâmica fossem realizados. A fibra de bananeira foi utilizada em cortes de aproximadamente 5 cm de comprimento para facilitar a mistura e aderência.

4.3 Análise da adesão e da homogeneidade dos componentes nos AGFB da segunda fase da pesquisa

Tanto o AGFB 4 (Figura 33) (corpo de prova com 38 cm de largura, 38 cm de altura e 5 cm de espessura) quanto o AGFB 5 (Figura 34) (corpo de prova com as mesmas medidas) apresentaram distribuição homogênea da fibra de bananeira no compósito. Os componentes (apara têxtil, espuma e fibra) obtiveram adesão e coesão aparentemente satisfatórias uns aos outros.

Figura 33 – AGFB 4- 10% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis



Fonte: autoria própria, 2018

Figura 34 – AGFB 5- 20% de fibra, espuma flexível de PU e aparas têxteis



Fonte: autoria própria, 2018

4.4 Resultados dos ensaios estabelecidos na norma ABNT NBR 13579-1 para o AG e para os AGFB da segunda fase da pesquisa

Estes compósitos foram fabricados utilizando-se proporção maior de flocos de espuma e menor de aparas de têxteis (flocos de bojo), além de o tempo de prensagem ter sido menor (2 horas) com o intuito de deixar as amostras com menor dureza e possibilitar a realização de todos os ensaios.

Os percentuais de fibra foram escolhidos com base nas análises de homogeneidade e adesão dos componentes realizadas nos três primeiros AGBF produzidos. A concentração de 20% de fibra de bananeira mais aparas têxteis foi mantida pelo melhor resultado apresentado. Foi produzido AGBF com metade dessa quantidade de fibra (10%) para ser analisado e comparado, já que o AGBF com o dobro (40% de fibra) mostrou-se inviável.

A Tabela 5 informa os resultados dos ensaios das amostras da segunda fase da pesquisa.

Tabela 5 – Resultados da segunda fase da pesquisa

Ensaio	Amostras			
	Referência	AG	AGFB 4	AGFB 5
Densidade (kg/m ³)	≥ 65	60,46	60,60	62,98
DPC a 50% (%)	Máx. 25	6	6	6
FI a 40% (N)	Mín. 250	NR*	NR	NR
Resiliência (%)	Mín. 25 Máx. 35% de perda de FI a 40% e máx. de 10% de perda de espessura	32	30	30
FD (%)		NR	NR	NR
*Não realizado				

Fonte: autoria própria, 2018

A densidade das amostras (AG fabricado na Escola de Agronomia da UFG, AGFB 4 e AGFB 5) ficaram abaixo do padrão, porém os resultados para resiliência e deformação permanente atenderam ao padrão. Nessas amostras também se observa a relação de que quanto maior a densidade, maior a resiliência e menor a deformação permanente à compressão. Porém também não foi possível realizar o ensaio de força de indentação a 40 %, provavelmente pela dureza da amostra, o equipamento não atingiu força suficiente para comprimir a amostra na espessura designada. Segundo Vilar (2004), a força de indentação está relacionada à dureza da espuma, mede a força para comprimir a espuma; quanto mais dura, maior a força necessária para compressão. A dureza, assim como a densidade também define a capacidade da espuma em suportar carga; quanto maior a dureza, menor tração de alongamento, elasticidade, resistência ao rasgo, resistência à fadiga e resistência à deformação permanente da espuma.

Neste caso a amostra demonstrou uma dureza excessiva, que diminui a resistência à deformação permanente à compressão, havendo perda de espessura mais rapidamente. Sem o resultado da força de indentação a 40% não é possível determinar a fadiga dinâmica, pois o valor daquela é necessário ao cálculo desta.

Na segunda fase da pesquisa, as seguintes causas podem ter contribuído para a dureza das amostras: uso de resíduos de espumas com baixa densidade, que apresentam células muito abertas (podem ser ocasionadas pela aeração excessiva e/ou quantidade excessiva de água no processo de sua fabricação) e de espumas com grande quantidade de cargas inorgânicas, como carbonato de cálcio e sulfato de bário, que promovem aumento da dureza e um falso aumento da densidade. As células muito abertas podem ficar impregnadas pela mistura aglutinante, fazendo com que haja uma maior superfície de contato da cola na amostra, não se

restringindo apenas entre os flocos. Segundo Vilar (2004), As quantidades de TDI, polioli, catalisador a base de estanho e o tempo de prensagem do bloco interferem na dureza da amostra; assim quanto maior a quantidade dessas substâncias e quanto maior o tempo de prensagem, maior a dureza. Assim, percebeu-se a necessidade de selecionar os resíduos de espuma flexível de PU de acordo com a densidade e análise do teor de cinzas, que avalia a presença de cargas inorgânicas.

Somente para se testar o comportamento das amostras na simulação de uso real, submetendo-as aos 80.000 ciclos na deflexionadora; as três (AG da segunda fase, AGFB 4 e AGFB 5) suportaram sem se desfazerem, porém a que deformou mais foi o AGFB 5 (com 20% de fibra de bananeira), conforme ilustram as Figuras 35 e 36.

Figura 35 – AGFB 4 deformado



Fonte: autoria propria, 2018

Figura 36 – AGFB 5 deformado



Fonte: autoria própria, 2018

Pode-se concluir que 20% de fibra também é uma quantidade excessiva, pois a adesão ficou comprometida, provavelmente pelo caráter hidrofílico da celulose e presença de ceras e gorduras que interferem na aderência entre a matriz e o reforço (fibra de bananeira), afetando negativamente as propriedades mecânicas dos compósitos. Segundo Ashori (2008), quando a adesão não é satisfatória ocorre diminuição da resistência mecânica do compósito.

Embora não tenha sido possível a realização de todos os ensaios, percebeu-se que a utilização de 10% de fibra de bananeira no compósito apresentou melhor resistência mecânica, pois deformou menos. Segundo Vasco *et al.* (2017), a interação química entre o isocianato e a lignina pode reforçar a interface entre a matriz polimérica e a fibra, com consequente melhor distribuição da carga no compósito quando sujeito a tensões mecânicas. Isso pode melhorar o desempenho mecânico sem a realização de pré-tratamentos nas fibras vegetais.

5 CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados dos ensaios mecânicos dos compósitos obtidos, adotando a norma ABNT NBR 13579-1, não foram totalmente conclusivos para atribuir melhores desempenho e durabilidade do AGFB em relação ao AG para uso em colchões, pois a força de indentação a 40% e a fadiga dinâmica, que é o ensaio que simula o uso real ao deitar e ao sentar em função do tempo de uso, não puderam ser complementados, além de a deformação permanente à compressão e a resiliência apresentarem valores próximos para o AGFB e o AG.
- Na determinação da melhor composição do compósito, o percentual de 10% de fibra de bananeira é o mais indicado, pois apresentou menor deformação permanente que o AGFB 5, com 20% de fibra, após o ciclo na deflexionadora, apresentando melhor resistência mecânica e adesão entre a matriz polimérica e a fibra de bananeira.
- Para que o AGFB desenvolvido neste trabalho seja utilizado na fabricação de colchões, a seleção dos resíduos de espuma flexível de PU, quanto à densidade e teor de cinzas da espuma originária, deve ser realizada, a fim de que a densidade e a dureza do compósito fiquem adequadas, possibilitando a realização dos ensaios necessários e obtendo-se resultados dentro dos limites determinados na legislação, pois os colchões são produtos regulamentados pelo Inmetro, sendo obrigatório o atendimento a todos os requisitos.

REFERÊNCIAS

ALBINANTE, S.R.; PACHECO, E.B.A.V.; VISCONTE, L.L.Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**. v. 36, n. 1, p. 114-122, 2013.

ASHORI, A. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. **Bioresource Technology**. v. 99, n. 11, p. 4661-4667, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE COLCHÕES – ABICOL. **CAGED Estabelecimento - admissões e desligamentos – Novembro 2016**. Disponível em: <http://www.abicol.org/caged-estabelecimento-admissoes-e-desligamentos-novembro-2016/>. Acesso em: 15 set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13579-1 colchão e colchonete de espuma flexível de poliuretano e bases**. Parte 1: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8537 espuma flexível de poliuretano: determinação da densidade**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9177 espuma flexível de poliuretano: determinação da fadiga dinâmica**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8619 espuma flexível de poliuretano: determinação da resiliência**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8797 espuma flexível de poliuretano: determinação da deformação permanente à compressão**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9176 espuma flexível de poliuretano: determinação da força de indentação**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei n. 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO. **Portaria n. 79** de 03 de fevereiro de 2011. Aprova os requisitos de avaliação da conformidade para colchões e colchonetes de espuma flexível de poliuretano. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001674.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2018.

CALLISTER Jr., W. D. Compósitos. In: CALLISTER Jr., W. D. **Ciência e Engenharia de materiais – uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2002. p. 358-386.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M.; CLARO NETO, S. Poliuretano: de travesseiro a preservativo, um polímero versátil. **Química Nova Escola**. v. 31, n. 3, p. 159-164, ago. 2009.

CARLESSO, J.; CONTO, D.; POLIDORO, T.A. Reaproveitamento de polioli e incorporação de resíduos sólidos de espuma de poliuretano na produção de aglomerado de espuma para colchão. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA PARA O MEIO AMBIENTE, 5., 2016, Bento Gonçalves. **Anais do 5º Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente**. Bento Gonçalves: 2016. p. 1-8. Disponível em: <<https://siambiental.ucs.br/congresso/anais/trabalhosTecnicos?ano=2016>>. Acesso em: 31 ago. 2017.

CASTRO, H. G.; FERREIRA, F. A.; SILVA, D. J. H.; MOSQUIM, P. R. **Contribuição ao estudo das plantas medicinais: metabólitos secundários**. 2. ed. Viçosa – MG, 2004. 113p.

Centro de Gestão e estudos Estratégicos – CGEE. Química verde no Brasil: 2010-2030. Brasília: CGEE, 2010. p. 8-9, 14.

CONCEIÇÃO, R.D.P.; PACHECO, E.B.A.V. Aplicação da logística reversa para colchões de espumas de poliuretano: um estudo de caso de uma fábrica de colchões no Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Foz do Iguaçu: 2009.

CORDEIRO, E.M.S.; PEREIRA, A.L.S.; NASCIMENTO, D.M.; MORAIS, J.P.S.; MEN DE SÁ, M.S.F.; ROSA, M.F. Extração e caracterização de nanocelulose de fibras do pseudocaule da bananeira. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO – CONNEPI, 5., 2010, Maceió. **Anais do 5º Congresso Norte-nordeste de pesquisa e Inovação – Connepi**. Maceió: 2010. p. 1-7. Disponível em: <connepi.ifal.edu.br/ocs/anais/>. Acesso em: 01 set. 2017.

DEMARCHI, C. A. **Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: produção, caracterização e absorção sonora**. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2010.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Banana – o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2012.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Banana – desempenho da cultura no mundo – principais países – 2016. Disponível em: <http://www.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/mundo/banana/banana_mundo_desempenho.htm>. Acesso em: 06 jun. 2018.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Banana – produção brasileira – Brasil, regiões e estados – 2016. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/Base_de_Dados/index_xls/brasil/Banana/banana_brasil_producao.htm>. Acesso em: 06 jun. 2018.

Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI. Boletim Didático – curso profissionalizante de extração e tratamento da fibra de bananeira. 2009.

FERREIRA, C. F.; SILVA, S.O.; AMORIM, E.P.; SANTOS-SEREJO, J.A. **O agronegócio da banana**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2016. 832p.

FOIZER, M.A.; RIELLA, H.G.; MARTINS, M.A.P.M.; MAZZUCCO, M.M. Avaliação da adição de resina MDI em termoformagem de poliuretano linear. **Revista Iberoamericana de Polímeros**. v. 17, n. 2, p. 84-91, mar. 2016.

FOWLER, P.A.; HUGHES, J.M.; ELIAS, R.M. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 86, p. 1781-1789, 2006.

GOIÁS. Centrais de Abastecimento de Goiás S/A – CEASA - GO. Divisão Técnica. **Análise conjuntural 2015**. Goiânia, 2015, n. 40.

GUIMARÃES, B.M.R.; MENDES, L.M.; TONOLI, G.H.D.; BUFALINO, L.; MENDES, R.F.; GUIMARÃES JUNIOR, J.B. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 38, n. 1, Jan./Feb. 2014.

GUIMARÃES, J. L. **Preparação e caracterização de compósitos de amido plastificado com glicerol e reforçados com fibras naturais vegetais**. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.

JACOBI, P.R.; BESEN, G.R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 25, n. 71, jan./abr. 2011.

JANDAS, P.J.; MOHANTY, S.; NAKAY, S.K. Mechanical properties of surface – treated banana fiber / polylactic acid biocomposites: a comparative study of theoretical and experimental values. **Journal of Applied Polymer Science**, 2013. Wiley Online Library DOI: 10.1002/APP37978, p. 4027 – 4038.

LANS, C.; HARPER, T.; GEORGES, K.; BRIDGEWATER, E. Medicinal plants used for dogs in Trinidad and Tobago. **Preventive Veterinary Medicine**, Elsevier, v. 45, p. 201-220, 2000.

LI, K.; FU, S.; ZHAN, H.; ZHAN, Y.; LUCIA, L.A. Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. **BioResources**, v. 5(2), p. 576-585, 2010.

MAIA SIQUEIRA, L.V.; STRAMARI, M.R.; FOLGUERAS, M.V. Adição de poliuretano expandido para a confecção de blocos de concreto leve. **Revista Matéria**, v. 9, n. 4, p. 399-410, 2004.

MARTIN, R. A.; MATTOSO, L. H. C. Estudo do comportamento térmico de fibras de sisal e seus componentes através de DSC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14., 2000, São Pedro. **Anais do 14º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**. São Pedro: 2000. p. 50601-50610.

MENDONÇA, K.H.; DUARTE, D.A.S.D.; COSTA, V.A.M.; MATOS, G.R.; SELEGUINI, A. Avaliação de genótipos de bananeira em Goiânia, estado de Goiás. **Revista Ciência Agro-nômica**, Fortaleza, v. 44, n. 3, p. 652-660, jul./set. 2013.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N.K. Repartição e remobilização de nutrientes na bananeira. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 31, n. 2, p. 574-581, 2009.

RODRIGUEZ-CÓRDOVA, L. A.; SÁEZ-NAVARRETE, C. A.; ISHANOGLU, V.; HERRERA, L.; GINOCCHIO, R. Tolerance of native Magellan fungi in peat to anthracene and n-dodecane for potential use in bioremediation. **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 43, n. 1, p. 85-95, 2016.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil – Part I: source, production, morphology, properties and applications. **Elsevier Composites Part A: applied science and manufacturing**. v. 7, n. 38, p. 1694-1709, 2007.

SILVA, C.W. **Estudo da aplicação da manufatura enxuta em indústrias de colchões**. 2012. 56 f. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2012.

SILVA, G. A.; LIMA, W. Q. F.; GUEDES, A. F.; RODRIGUÉZ, J. A. L. **Avaliação da letalidade e atividade antimicrobiana de extratos de folhas de *Spondias mombin* aff. *tuberosa***. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/265806073_AVALIACAO_DA_LETALIDADE_E_ATIVIDADE_ANTIMICROBIANA_DE_EXTRATOS_DE_FOLHAS_DE_Spondias_mombin_aff_tuberosa>. Acesso em: 22 mar. 2018.

SOARES, M. S. **Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel**. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade de São Paulo, Lorena. 2012.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 4, p. 438-443, 2010.

VASCO, M. C.; CLARO NETO, S.; NASCIMENTO, E. M.; AZEVEDO, E. Gamma radiation effect on sisal / polyurethane composites without coupling agents. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 27, n. 2, p. 165-170, 2017.

VENTURA, A.M.F.M. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**. v. 21, n. 3/4, p. 10-19, 2009.

VILAR, W. **Química e tecnologia dos polímeros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.

XU, S.; XIONG, C.; TAN, W.; ZHANG, Y. Microstructural, thermal, and tensile characterization of banana pseudo-stem fibers obtained with mechanical, chemical and enzyme extraction. **BioResource**, v. 10, n. 2, p. 3724-3735, 2015.