

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CAROLINA MAIA PEREIRA
VINICIUS NORAT GUIMARÃES BARROSO MAGNO**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE
POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO REFORÇADOS COM BIOMASSAS
DE AÇAÍ E DE COCO**

**VOLTA REDONDA, RJ
2020**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE
POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO REFORÇADOS COM BIOMASSAS
DE CASCA E DE COCO**

Trabalho apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito parcial à aprovação na disciplina de Projeto Final.

Alunos: Carolina Maia Pereira

Vinicius Norat G. B. Magno

Orientador: Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Cirlene F. Bandeira

VOLTA REDONDA, RJ

2020



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIESTIRENO DE ALTO IMPACTO REFORÇADOS COM BIOMASSAS DE AÇAÍ E DE COCO**

Elaborado por **CAROLINA MAIA PEREIRA, MATRÍCULA: 201520438** e **VINICIUS NORAT GUIMARÃES BARROSO MAGNO, MATRÍCULA: 201520194**

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 17 de junho de 2020.

Banca examinadora:



.....
Professor Orientador

Prof. Dr. Sergio Roberto Montoro, UniFOA



.....
Professora Avaliadora

Prof.ª Dr.ª Ana Carolina Callegario Pereira, UniFOA



.....
Professor Avaliador

Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago, UniFOA

Dedicamos este trabalho a nossos familiares, amigos e professores que nos apoiaram durante todo o desenvolvimento do presente projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por nos proporcionar a vida e a oportunidade de estudar.

Agradecemos também aos nossos familiares, amigos e cônjuges pelo apoio e compreensão durante todo o percurso da graduação e por fazerem parte de nossas vidas.

Agradecemos a instituição e professores que dedicaram seu tempo a nos ajudar, ensinar e estimular nossa caminhada para a formação, além de nos preparar para sermos éticos em toda área profissional, nos tornando profissionais e pessoas melhores.

RESUMO

O crescimento populacional mundial, vem afetando de diversas formas a humanidade, principalmente por conta da quantidade de resíduos gerados, já que a geração de resíduos cresce proporcionalmente com a população. Tendo esse problema em vista, uma ideia de sustentabilidade vem crescendo nas comunidades interessadas, e com foco na redução da poluição, tem-se investido em pesquisas e projetos que se baseiam na reciclagem de produtos. A fim de aumentar a durabilidade dos materiais utilizados, consumindo menos matéria-prima e preservando o meio ambiente, evitando sua degradação por consumo e descarte. O presente trabalho de conclusão de curso teve como principal objetivo avaliação das propriedades térmicas de compósitos de poliestireno de alto impacto reforçados com biomassas de açaí e de coco por meio de ensaios térmicos de TGA e DSC. Esta comparação tem como justificativa, reduzir a quantidade de resíduos gerados, aumentando a resistência e durabilidade de produtos desenvolvidos com os mesmos. Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de biomassa de casca do açaí e da biomassa de coco no HIPS sobre algumas propriedades dos compósitos de HIPS reforçados com essas fibras e sua possível aplicação em diversas áreas. Os principais resultados alcançados foram: a adição de fibras naturais no HIPS obteve-se um material com até 10% menos polímero e com propriedades térmicas viáveis para determinadas aplicações do HIPS; a adição de biomassas de açaí e de coco na matriz polimérica do HIPS reduziu em até 29°C a estabilidade térmica do HIPS restringindo o uso do compósito para aplicações até este limite de temperatura e, dentre as biomassas estudadas, verificou-se que a biomassa de açaí foi a que promoveu a menor redução da estabilidade térmica do HIPS.

Palavras-chave: Compósitos; HIPS; Açaí; Coco; TGA; DSC.

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 | Problema abordado | 8 |
| 1.2 | Justificativa | 8 |
| 1.3 | Estratégias de pesquisa | 9 |
| 1.4 | Objetivo Geral | 9 |
| 1.5 | Objetivo Específico | 9 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 10 |
| 2.1 | Problemas históricos | 10 |
| 2.2 | Atualidade | 10 |
| 2.3 | Compósitos | 12 |
| 2.4 | Matrizes Termoplásticas | 15 |
| 2.4.1 | Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) | 15 |
| 2.5 | Termoplásticos utilizados com materiais lignocelulósicos | 17 |
| 2.6 | Reforços de Fibras Naturais | 18 |
| 2.6.1 | Fibras de Açai | 20 |
| 2.6.2 | Fibras de Coco | 22 |
| 2.7 | Aplicação | 23 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 | Poliestireno de Alto Impacto (HIPS) | 24 |
| 3.2 | Biomassa da Casca do Açai | 25 |
| 3.3 | Biomassa da Casca do Coco | 25 |
| 3.4 | Compósitos | 25 |
| 3.5 | Análise Termogravimétrica (TGA) | 25 |
| 3.6 | Análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC) | 26 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 27 |
| 4.1 | Caraterização do HIPS puro | 27 |
| 4.1.1 | Análises de TGA e de DSC do HIPS puro | 27 |
| 4.2 | Análises de TGA das biomassas de açai e coco | 28 |
| 4.2.1 | TGA da biomassa de açai | 28 |
| 4.2.2 | TGA da biomassa de coco | 29 |
| 4.3 | Análises de DSC das biomassas de açai e coco | 30 |
| 4.4 | Análises de TGA dos compósitos de açai e coco | 31 |
| 4.5 | Análises de DSC dos compósitos de açai e coco | 32 |
| 5 | CONCLUSÕES | 34 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

INTRODUÇÃO

No final do século XVIII deu-se início ao movimento chamado “Revolução Industrial”, que se iniciou na Inglaterra, no qual originou-se um grande impacto na sociedade. Este movimento marcou uma alteração no processo de produção onde foi mecanizado toda a manufatura de produtos convencionais, e se comparado com a produção manual utilizada anteriormente, se evidencia um aumento significativo da fabricação, e conseqüentemente elevou o consumo de recursos naturais (LIMA, 2017).

No atual cenário mundial, pode-se notar um maior índice de descarte, causado pela política consumista espelhada pelos países desenvolvidos, onde tem-se como objetivo, aumentar a produção de forma a suprir as necessidades da população. Essa política consumista faz com que os produtos se tornem mais baratos, devido a diminuição da qualidade dos mesmos, que os fazem serem descartados rapidamente, aumentando a geração de resíduos sólidos (ZANIRATO, 2016).

Nos últimos anos uma parte da população interessada, tem se preocupado cada vez mais com essa geração desnecessária de resíduos, pois a densidade populacional cresce constantemente em função do tempo, exigido mais espaço e matéria-prima para suprir as necessidades desta demanda populacional, fazendo com que se gere cada vez mais poluição que afeta a qualidade de vida e bem-estar dos indivíduos (ZANIRATO, 2016).

Com foco na redução da poluição, tem-se investido em pesquisas e projetos que se baseiam na sustentabilidade e reciclagem destes produtos. A fim de aumentar a durabilidade dos mesmos, consumindo menos matéria-prima e preservando o meio ambiente, evitando sua degradação por consumo e descarte (CLARO, 2014)

Uma das formas utilizadas para redução do descarte precoce, é o aumento da qualidade dos materiais utilizados na produção, sendo visado o aumento da resistência sem prejudicar a funcionabilidade do produto. Um exemplo é utilização de polímeros com fibras naturais que auxiliam na conservação do meio ambiente e proporcionam maior durabilidade e eficiência dos materiais (CINQUETTI, 2000).

O aumento do consumo da água do coco verde e do açaí nas regiões brasileiras, tem gerado uma quantidade significativa de resíduos do revestimento de ambas as frutas. O desenvolvimento de tecnologias de combinação de polímeros com fibras naturais, possibilita que com o tratamento desses resíduos, possam ser produzidas fibras que podem ser utilizadas para o reforço desses compósitos (RORIZ, 2012).

Sendo assim, o objetivo desse trabalho é realizar uma comparação térmica entre dois compósitos que tenham sido fabricados com o mesmo polímero, e com a mesma proporção de fibra e polímero, dessa forma determinar qual das duas fibras se adaptou melhor como reforço no compósito, para que se reduza a quantidade consumida de um material derivado do petróleo, e obtendo um alternativa para destinação dos resíduos de coco e açaí (Autores, 2020).

1.1 Problema abordado

Há atualmente um aumento da fabricação de produtos com materiais poliméricos, e isso se deve ao fato de esses materiais terem a propriedades que se encaixam em diversos setores manufactureiros, porem esse material é proveniente de fontes não renováveis, e há um interesse de redução de consumo desse material. Em função disso, são desenvolvidos diversos trabalhos de pesquisa relacionados a alteração da composição desses materiais, e uma das soluções encontradas foi a criação de compósitos, ondem o polímero trabalhado é reforçado com uma fibra natural, reduzindo assim o consumo desses materiais, e sua possível melhoria de propriedades pode aumentar o tempo de vida útil do objeto, reduzindo à grande quantidade de rejeitos poliméricos gerados. Portanto, este trabalho tem como questão principal avaliar as propriedades térmicas de compósitos de poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçados com biomassas da casca do açaí e de coco.

1.2 Justificativa

A utilização de materiais naturais vem sendo muito grande, especialmente os de fibras vegetais, como reforço em compósitos, que são usados em várias áreas desde a indústria automotiva até a construção civil. As fibras tem a vantagem de terem a massa específica baixa, flexibilidade no processamento, boas propriedades mecânicas, fácil

manuseio, recurso renovável e biodegradável, não tóxicos, além de ter baixo custo e uso de sistemas simples para algum tratamento superficial. Os polímeros estão substituindo outros materiais, fazendo-se necessário que o produto tenha um desempenho térmico satisfatório em sua vida útil, porém com a junção de fibras a esses materiais, suas propriedades tendem a se alterar, podendo piorar ou melhorar de acordo com cada fibra utilizada, e por conta disso, é de suma importância que sejam testadas suas propriedades para determinar em qual setor esse material poderá ser utilizado (LEI, WU, 2010; KU et al., 2011; DUC; VERGNES; BUDTOVA; 2011).

1.3 Estratégias de pesquisa

Serão feitas comparações entre os ensaios térmicos de análise termogravimétrica (TGA) e análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC) para determinar qual o compósito que apresenta as melhores características.

1.4 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades térmicas de compósitos de poliestireno de alto impacto reforçados com biomassas da casca do açaí e de coco verde, por meio da comparação dos resultados de ensaios térmicos (TGA e DSC) dos compósitos.

1.5 Objetivo Específico

Comparar ensaios térmicos (TGA e DSC) para selecionar o compósito que apresenta melhores resultados de parâmetros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Problemas históricos

Segundo Eric Hobsbawm, a revolução industrial foi um período de grande desenvolvimento tecnológico que se iniciou na Inglaterra e se espalhou para outras partes do mundo como a Europa Ocidental e Estados Unidos na segunda metade do século XVIII, acelerando a produção ao substituir a mão de obra manual pela utilização de máquinas, dando início as indústrias. Esse novo processo trouxe consigo, um estímulo à exploração de recursos naturais (HOBSBAWM, ERIC J. 2014).

2.2 Atualidade

Segundo o relatório da Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial tem certa de 7.7 bilhões de indivíduos, e em 2050 esse valor deve crescer para aproximadamente 9,7 bilhões, e em 2100 chegando ao seu pico de 11 bilhões de habitantes, resultando em um crescimento de 3,3 bilhões até o final do século (WILMOTH, JOHN, et al. 2019).

Segundo dados da *World Wide Fund for Nature* (WWF), o Brasil ocupa atualmente o quarto lugar de maior gerador de resíduos plásticos do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia como descrito na tabela 1.

Tabela 1 - Ranking dos geradores de plástico mundial anual.

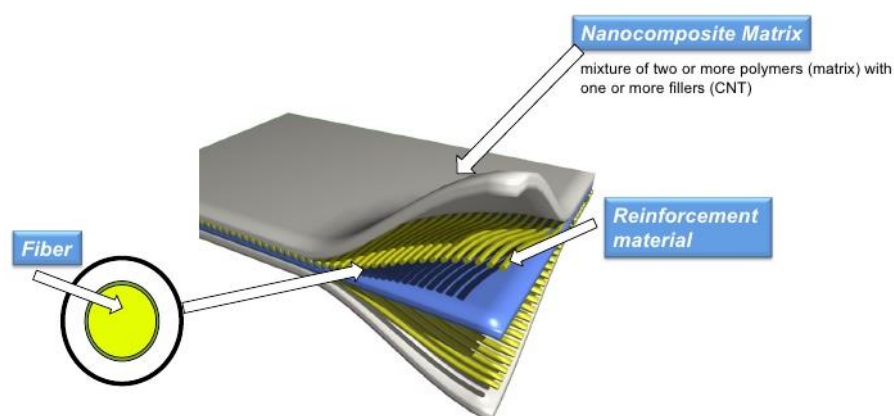
| País | Resíduo plástico gerado (ton) | Total incinerado (ton) | Total reciclado (ton) | Porcentagem reciclada (%) |
|----------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Estados Unidos | 70782577 | 9060170 | 24490772 | 3,46% |
| China | 54740659 | 11988226 | 12000331 | 21,92% |
| Índia | 19311663 | 14544 | 1105677 | 5,73% |
| Brasil | 11355220 | 0 | 145043 | 1,28% |
| Indonésia | 9885081 | 0 | 362070 | 3,66% |
| Rússia | 8948132 | 0 | 320088 | 3,58% |
| Alemanha | 8286827 | 4876027 | 3143700 | 37,94% |
| Reino Unido | 7994284 | 2620394 | 2513856 | 31,45% |
| Japão | 7146514 | 6642428 | 405834 | 5,68% |
| Canadá | 6696763 | 207354 | 1423139 | 21,25% |

Fonte: WWF / Banco Mundial (*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*). 04 março de 2019

2.3 Compósitos

A necessidade crescente de materiais que atendam as demandas do mercado vem impulsionando a combinação de diferentes materiais, objetivando a obtenção de um material compósito, com melhores características que seus componentes e que o desempenho atenda aos requisitos específicos dos mais diversos projetos nos mais variados setores, desde a fabricação de peças para a indústria aeroespacial até a fabricação de materiais esportivos. Esses materiais são formados por uma mistura heterogênea, não solúvel, de dois ou mais constituintes, compondo suas fases distintas denominadas de matriz e reforço. A matriz, em maior quantidade, pode ser um metal, um material cerâmico ou polimérico (MOREIRA, 2009).

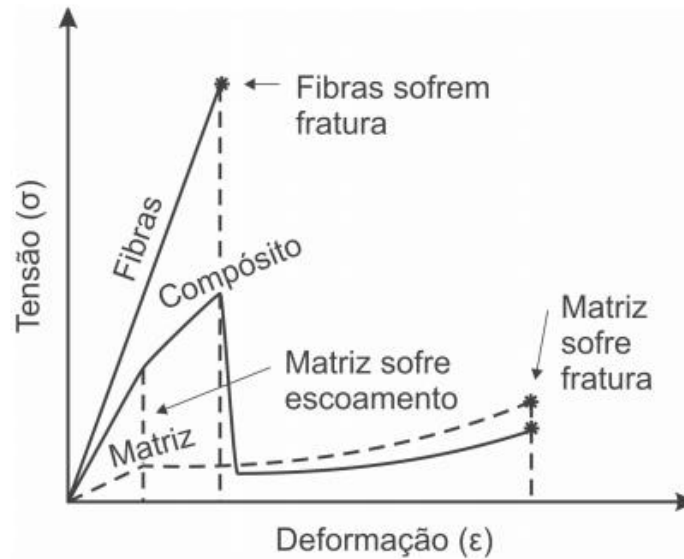
Figura 1: Ilustração da matriz compósita e da fibra.



Fonte: Nanocyl – *The carbon nanotube specialist*

A matriz ou fase contínua protege o reforço do ambiente externo, impedindo seu contato com meios corrosivos ou ácidos e mantendo o reforço no seu devido lugar, transferindo toda a tensão para o mesmo. Sua escolha se dá, por sua influência no desempenho conforme a temperatura de serviço e seu processamento, capacidade de envolvimento e proteção do reforço durante o manuseamento ou por contato e capacidade de distribuição do carregamento pelo reforço (TARGA, 2011).

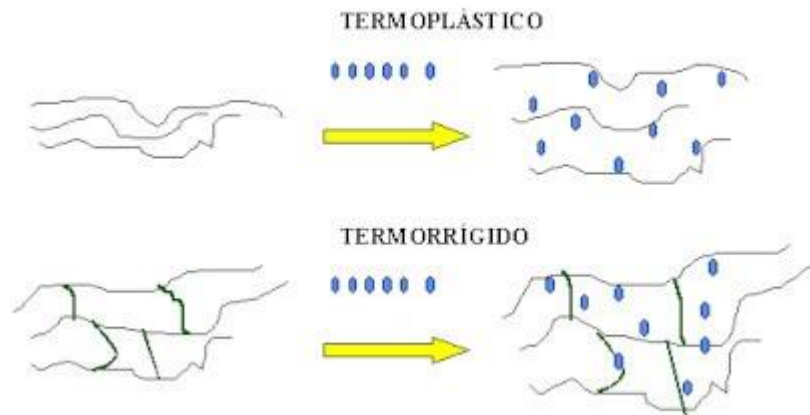
Figura 2: Gráfico Tensão x Deformação da matriz de compósito e fibras.



Fonte: PUC-Rio – Certificação Digital N° 0721366/CA

No caso das matrizes poliméricas, elas são classificadas em termorrígidas e termoplásticas. Os termorrígidos são materiais, que no primeiro aquecimento, formam ligações cruzadas (cura), após o resfriamento, os demais aquecimentos, geram a degradação do polímero. Já os termoplásticos são materiais que podem sofrer sucessivos aquecimentos e resfriamentos, apresentando em todos os aquecimentos a fusão (BANDEIRA, 2011).

Figura 3: Representação de Matriz Termoplástico e Termorrígido.



Fonte: Mundo educação

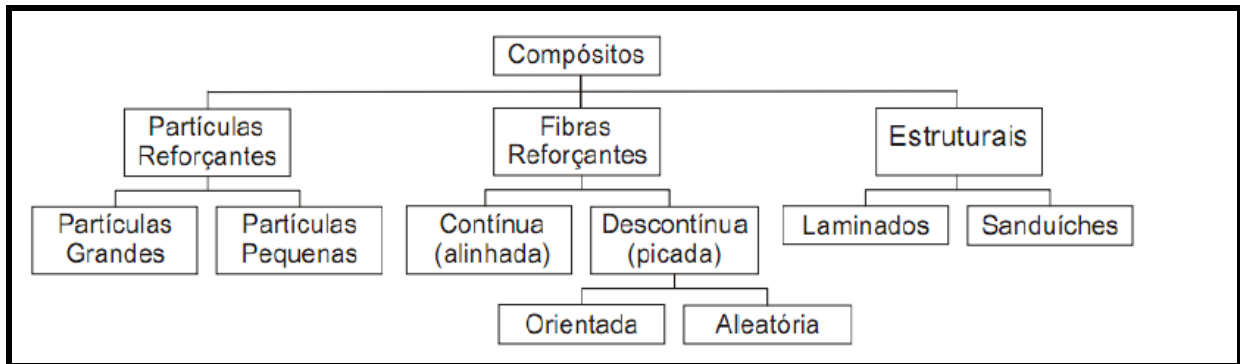
Os compósitos poliméricos, em sua maioria, apresentam matrizes termorrígidas, essas matrizes se apresentam como uma alternativa para diversas aplicações, incluído aplicações estruturais, o que se deve em grande parte, a tenacidade à fratura, resistência ao impacto e tolerância a danos, maior que os observados nas matrizes termorrígidas (NOGUEIRA, 2004; MAZUR, 2010).

Esses polímeros, geralmente, apresentam cadeias poliméricas longas, podendo ser lineares ou ramificadas, que durante o aquecimento não formam ligações cruzadas. Além disto, são sólidos à temperatura ambiente, se tornando fluido quando aquecidos, permitindo sua reciclagem, fator de importância atualmente (NOGUEIRA, 2004; MAZUR, 2010).

O reforço, por sua vez, tem como função suportar os esforços mecânicos que são transferidos para ele pela matriz. No entanto, isto só ocorre quando há uma boa afinidade química entre a matriz e o reforço. Ele pode ser formado por uma fibra contínua ou descontínua, um material particulado ou outros materiais. As propriedades dos compósitos são determinadas pela interação da matriz/reforço e pela distribuição do reforço na matriz (BANDEIRA, 2011; REZENDE; COSTA, 2009; BOTELHO, 2011; DIACENCO, 2010; MAZUR, 2010; MOREIRA, 2009)

Geralmente, os compósitos são classificados conforme a morfologia dos seus constituintes (Figura 4), se destacando por apresentarem baixa massa específica (0,9 a 1,6 g/cm³), resistência química e mecânica, além de possuírem flexibilidade arquitetônica, permitindo a produção de peças com alta complexidade (HOLMES, 2017; BANDEIRA, 2011).

Figura 4: Classificação esquemática dos materiais compósitos.



Fonte: Adaptado por Diacenco, 2010.

2.4 Matrizes Termoplásticas

No mercado encontra-se grande variedade de polímeros termoplásticos para as mais diversas aplicações, levando em conta as propriedades químicas e mecânicas. O interesse de usar os polímeros como matrizes, se dá por conta de seu processamento ser mais rápido, comparado aos termoendurecíveis, pelo fato de precisar somente de aquecimento, sem exigir grandes ciclos de cura (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS; 2016).

Além desse fato importante, se for levando em conta o tema reciclagem e ecologia, os termoplásticos são ecologicamente melhores, porque a maioria das matrizes termoplásticas apresenta menor taxa de toxicidade, não liberando produtos químicos em seu processamento e podendo serem aquecidas, o que permite sua penetração nas fibras, com auxílio do mecanismo de pressão, que podem ser retrabalhadas quantas vezes for necessário (PLASTIC RECYCLING, 2018).

2.4.1 Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)

Muitos polímeros amorfos ou vítreos apresentam comportamento frágil à fratura, o que diminuem a sua aplicação. O reforço com elastômeros é um método conhecido e utilizado por muitas indústrias para conseguir aumentar a resistência à fratura e a tenacidade desses materiais (ROVERE et al. 2008).

O elastômero adicionado ao poliestireno (PS) é responsável pelo efeito de relaxamento do material a nível molecular, onde parte da energia em calor é dissipada,

tendo efeito sinérgico na absorção de impacto. O poliestireno de alto impacto (PSAI), mais conhecido como HIPS (*High Impact Polystyrene*) é um desses polímeros. Ele é obtido a partir da sua polimerização *in situ* do estireno na presença de polibutadieno formando propriedades discretas da fase elastomérica espalhados em uma matriz contínua de PS. O HIPS tem maior resistência ao impacto em relação ao poliestireno homopolímero e blendas pós-reator de PS e elastômero, tendo em vista a polimerização elastômero-estireno. O HIPS também é resistente a líquidos orgânicos, óleos e graxas. Por conta da sua maior tenacidade, o HIPS é bastante utilizado na fabricação de componentes industriais, que necessitam de maior resistência que o PS não tenacificado, como por exemplo, gabinetes de refrigeradores, eletroeletrônicos, peças de máquinas e veículos, grades de ar-condicionado, saltos para calçados, brinquedos, acessórios para móveis, embalagens de proteção contra choques, além de peças internas e externas de aparelhos eletrônicos, guarda-chuvas, televisão, microcomputadores e toda a linha branca de eletrodomésticos (BENINI, 2011; RIBEIRO et al., 2012).

O bom desempenho do HIPS depende de muitos parâmetros, sendo um deles à fase vítrea (matriz) que seria a massa molecular, tendo a sua influência no tipo de processamento, no modo de como as cadeias se encontram organizadas (faixas estreitas ou largas) e até na viscosidade do polímero, resultando em polímeros com características distintas (ROVERE et al., 2008).

O polibutadieno é escolhido pelas propriedades finais a serem atingidas no HIPS, tendo como as principais, a configuração molecular (isomeria) e a viscosidade. A primeira refere-se às porcentagens relativas das insaturações nas configurações vinil, *trans* e *cis*. E a segunda é decorrente do peso molecular e do grau de ramificações (ROVERE et al., 2008).

O que existe de diferente na estrutura e morfologia dos dois tipos de HIPS são resultados das diferenças entre os processos de produção, tipo e teor de borracha. A polimerização em massa, tem como morfologia resultante do processo o tipo salame, com aspecto amplo no tamanho de suas partículas, com subinclusões de PS envoltos por uma membrana borrachosa, dispersa numa matriz de PS. Porém, quando de se

trata do processo de polimerização em emulsão, na maioria das vezes o resultado são partículas de borracha esféricas, não-desejáveis em razão do comprometimento da transparência, com estrutura do tipo *core-shell*, ou seja, partículas que são compostas por um núcleo de PS (core) revestido por uma membrana (*shell*), com aspecto de distribuição de tamanhos mais estreitos (ROVERE et al., 2008).

O HIPS tem como suas principais propriedades o ponto de amolecimento entre 87 e 100°C e a sua solubilidade parcial em hidrocarbonetos e cetonas, bem como sua temperatura de processamento abaixo da temperatura de degradação das fibras naturais, e o seu processamento faz com que ele seja uma alternativa viável de matriz para compósitos reforçados com fibras naturais (NETO; PARDINI, 2006).

Sua temperatura de fusão (T_m) é de 230°C, enquanto a temperatura do molde varia de 40 a 70°C (SOUZA E BORGES, 2011).

2.5 Termoplásticos utilizados com materiais lignocelulósicos

Os termoplásticos selecionados para serem utilizados com materiais lignocelulósicos devem ser fundidos ou amolecidos abaixo do ponto de degradação do componente lignocelulósico. Entre os termoplásticos utilizados estão: polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli (cloreto de vinila) (PVC) e polietileno de alta (PEAD) e baixa densidade (PEBD). Outros materiais podem ser acrescentados para modificação do processamento e desempenho dos produtos compósitos termoplásticos. Aditivos podem melhorar a ligação entre o termoplástico e o componente lignocelulósico, desempenho do compósito e processabilidade. Dentre este, o PE possui estrutura compacta e confere alta densidade, um balanço adequado entre resistência química, propriedades mecânicas e custo, tornando viável seu uso como matriz em compósitos reforçados com fibras vegetais (FRYHLE; SNYDER; SOLOMONS, 2016).

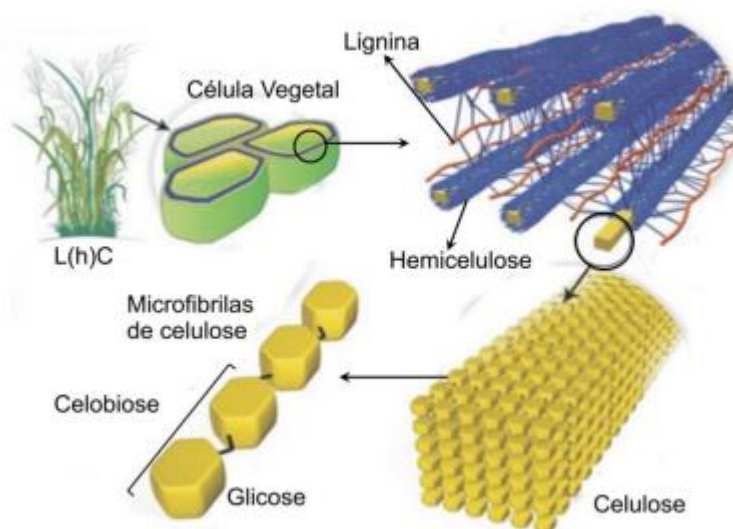
2.6 Reforços de Fibras Naturais

Devido a um grande interesse mundial, houve um grande desenvolvimento de tecnologias que possibilitam a fabricação de produtos que geram menor impacto ao meio ambiente. Por conta de os materiais plásticos sintéticos assumirem uma importante quantidade dos resíduos gerados, já que não são biodegradáveis, esses resíduos residem em seus locais de despejo durante vários anos, gerando um grande acúmulo desses materiais em depósitos, lixões ou até mesmo na própria natureza onde são lançados (MARINELLI, et al. 2008).

Há um grande e crescente interesse em pesquisas acerca dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais vegetais, já que essas fibras substituem fibras manufaturadas devido a sua biodegradabilidade, apresentam menor densidade e excelentes propriedades mecânicas e térmicas, e sua aplicabilidade em diversos setores de produção ampliam o interesse em estudos na incorporação dessas fibras em polímeros formando compósitos e substituindo outros materiais que são menos favoráveis ao meio ambiente (GUIMARÃES, MARIO et al. 2013).

O Brasil possui grande diversidade de fibras vegetais com díspares propriedades químicas, físicas e mecânicas. Diversas fibras e cargas naturais vegetais, provenientes ou não de resíduos, são designadas por materiais lignocelulósicos, que são macromoléculas orgânicas constituídas por pectinas, ligninas, hemicelulose e celulosas as quais podem estar ligadas ou não entre si (ALBINANTE et al, 2013).

Figura 5: Esquema da estrutura de uma biomassa ligno(hemi)celulósica.



Fonte: Adaptado de Santos et al. (2012)

O uso de fibras vegetais na produção de compósitos tem-se destacado, pois são materiais alternativos aplicados para construção de pequenas estruturas. As vantagens nesta utilização são inúmeras, não se limitam ao setor econômico, compreendendo outras vertentes, tais como o uso de materiais ecologicamente seguros, que trazem benefícios sociais. No Brasil, o emprego de fibras naturais na indústria induz a uma melhoria de vida das comunidades produtoras que, possuem nessas culturas, uma forma de sobrevivência (CHANDRAMOHAN; BHARANICHANDAR, 2013).

Além disto, estas fibras apresentam boas propriedades mecânicas devido à baixa densidade; são obtidas por fontes renováveis e recicláveis; possuem baixo custo e baixo investimento e são de fácil manipulação, processamento e são bons isolantes térmicos e acústicos (SPINACÉ, 2015).

Entretanto, estas fibras apresentam alguns problemas tais como a sua baixa resistência à tração, sua qualidade é variável, possui alta absorção de umidade, limitação na temperatura de processamento ($T_f < 220^\circ\text{C}$), sua baixa durabilidade, baixa resistência à chama e seus produtos possuem limitação de cores (MOREIRA, 2009).

2.6.1 Fibras de Açaí

O emprego do açaizeiro é grande, sendo usado como material de construção, produção de celulose (papel Kraft), remédio, ração animal, confecção de artesanatos e bijuterias e para alimentação. A produção agroindustrial possui papel principalmente da extração de açaí, a polpa processada do fruto é usada para alimentação em diversos estados brasileiros e no exterior (SILVA *et al.*, 2013).

Os compósitos cimentícios reforçados com fibra de açaí não sofrem perda significativa de resistência à compressão. Suas fibras aumentam satisfatoriamente a resistência à tração (aproximadamente 13%) em média de fibrocimentos produzidos com este reforço. O reforço indica bom desempenho de adesão com a matriz e o comportamento pós-fissura inerente aos fibrocimentos, reforçando a região adjacente à fratura (LIMA JR. 2007).

Os resultados dos ensaios de caracterização física das fibras (densidade e razão de aspecto das fibras) indicam que mesmo com variações existentes nos dados da literatura, os materiais lignocelulósicos estudados são adaptados para a confecção de compósitos mais leves e têm potencial de reforço, já que os valores de razão de aspecto (L/D) observados na literatura são superiores aos das fibras lignocelulósicas curtas (GUIMARÃES JUNIOR *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013).

A celulose demonstra sua estrutura sob a forma de rede cristalina com regiões amorfas, após a mercerização, ou seja, após o tratamento de NaOH, ocorre o arrefecimento das ligações de hidrogênio da fase amorfa, aumentando o intumescimento da celulose e o arrefecimento do grau de cristalinidade. Assim, os percentuais de celulose encontrados após o tratamento são maiores. A celulose proporciona mais resistência às fibras vegetais, crescendo o teor de celulose com o tratamento químico e tornando as fibras com maior potencial de reforço para os compósitos (ALBINANTE *et al.*, 2013).

Esses resultados são comprovados nos ensaios de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR), onde as bandas relacionadas à presença de hemicelulose somem nas fibras com tratamentos alcalinos e na análise termogravimétrica (TGA), onde foi

notado um acréscimo da temperatura de degradação das fibras tratadas se comparadas às sem tratamento, identificado na melhora da estabilidade térmica das fibras (CARDOSO et al., 2013).

Na análise termogravimétrica (TGA) como nos ensaios mecânicos (resistência à tração e à flexão) feitos nos compósitos, observaram-se resultados inferiores ou equivalentes estatisticamente à resina, ou seja, as fibras desempenharam uma função de carga nos compósitos e não de reforço. Esses resultados encontrados na literatura atrelam-se ao fato dos compósitos terem sido feitos com fibras curtas e dispostos aleatoriamente, assim os corpos de provas obtidos não tinham composição homogênea entre matriz/reforço, além do processo de feitura desses compósitos ser feito em contato com o ar, ajudando na formação de bolhas, afetando as propriedades mecânicas dos compósitos (ARAÚJO, 2009; ALMEIDA JUNIOR et al., 2012).

Na avaliação do comportamento térmico dos compósitos de açaí, ocorreu um acréscimo na estabilidade térmica dos puros submetidos aos tratamentos alcalinos em relação aos outros. Nos compósitos híbridos de açaí não ocorreu melhoria significativa com adição do hidróxido de sódio, mas, com adição do borohidreto de sódio, o compósito indicou um valor de temperatura de degradação menor que o compósito híbrido *in natura*. Constatou-se também, que as temperaturas de degradação dos compósitos híbridos com fibras de açaí e de açaí/vidro *in natura* foram superiores à temperatura de degradação do compósito reforçado por fibras de açaí sem tratamento, indicando que a combinação das fibras foi eficiente na melhoria das propriedades térmicas desse compósito (SANCHEZ et al., 2010).

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para as fibras de açaí, encontradas na literatura indicam a heterogeneidade dos compósitos, destacando-se a diferença do tamanho das fibras, aleatoriedade, baixa adesão à resina em alguns casos e a adesão maior das fibras tratadas de açaí em relação às sem tratamento (ALMEIDA JUNIOR et al., 2012).

A análise de absorção de água indicou que os compósitos reforçados com as fibras de açaí, tiveram um percentual de absorção de água baixo. Já os resultados

obtidos no ensaio de densidade aparentem dos compósitos não indicaram diferenças importantes na literatura. Assim, nota-se que o uso das fibras de açai tanto em compósitos puros como nos híbridos reduz a quantidade empregada de fibra de vidro. Além, dos tratamentos alcalinos terem indicado eficiência na melhoria da adesão superficial dos compósitos (CARDOSO et al., 2013).

2.6.2 Fibras de Coco

O mercado interno de coco verde tem crescido muito nos últimos anos. No período entre 1990 e 2010 a produção interna de coco deixou de ser realizada de forma mais tradicional com um caráter de subsistência praticado por comunidades litorâneas do Nordeste brasileiro e passou a ser praticada em todas as grandes regiões do país e em maior escala, passando a receber maior atenção e investimento de capital, além de ciência e tecnologia, o que implicou no aumento da quantidade de frutos produzidos.

A produção de coco no Brasil que era de 734 milhões de frutos em 1990 apresentou um aumento de 158 % produzindo aproximadamente 2 bilhões de frutos no ano de 2010 (CAVALCANTE, 2015).

Entretanto, a produção do coco se baseia no uso e na industrialização da água de coco, e com isso a sua casca, rejeito do fruto equivalente a 85 % do peso bruto do fruto é, em sua maioria, depositada em lixões e aterros sanitários gerando custos e impactos para a sociedade por se tratar de um material de difícil decomposição (CARDOSO; GONÇALEZ, 2016). Esse problema ambiental é uma das motivações para a utilização da fibra de coco como reforço de compósitos poliméricos, pois proporciona a redução na quantidade de rejeitos da casca, e pelo fato de ser um resíduo agroindustrial de fácil obtenção, de fonte natural e renovável (MULINARI et al., 2011).

Mintorogo et al. (2015) usaram fibras de coco para construir um isolamento térmico em coberturas de laje de concreto, considerando-as como um isolante natural sustentável limitando assim os impactos sobre o ambiente urbano e reduzindo o consumo de energia. Kuburi et al. (2017) usaram fibras de coco como reforço para fabricação de um compósito com matriz de polietileno e observaram que os valores de

resistência a tração e a flexão e a dureza aumentaram a partir do aumento do volume de fibra.

2.7 Aplicação

Sendo as fibras naturais materiais renováveis e de grande disponibilidade devido à grande variabilidade de plantas lenhosas e fibrosas disponíveis na biodiversidade, pode ser considerada dessa forma um material de fonte ilimitada. Existem mais de 65 mil espécies de plantas vasculares na Amazônia sendo que 6 mil delas só de árvores, possibilitando a descoberta de diversas fibras naturais com propriedades desejáveis como resistência mecânica, estabilidade química e biológica, resistência ao fogo, leveza, resistência à abrasão e ao cisalhamento, e além disso, as fibras naturais possuem baixa densidade e alta deformabilidade se comparadas com materiais semelhantes utilizadas nos campos de aplicação desse material, e apresentam baixo custo em relação aos materiais utilizados para reforço atualmente como a fibra de vidro, além de que as fibras naturais são menos abrasivas, desgastando menos o material, sendo crucial para o aumento da vida útil do equipamento, que além de reduzir o descarte de materiais, torna esses materiais biodegradáveis (MARINELLI, *et al.* 2008).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Poliestireno de Alto Impacto (HIPS)

O poliestireno de alto impacto utilizado neste trabalho foi o HIPS 825, produzido por *FINA Technology* e que foi gentilmente fornecido pela Videolar, localizada na cidade de Barueri/SP.

O HIPS possui baixo custo quando comparado a outros polímeros termoplásticos e apresenta rigidez adequada ao uso proposto e facilidade de processamento, podendo ser processado em temperaturas abaixo da temperatura de degradação da celulose (200-220°C).

Na Tabela 2 estão descritas algumas das principais características do HIPS 825.

Tabela 2: Propriedades do HIPS 825, fabricado pela FINA Technology, Inc.

| Propriedades | Sistema Internacional | |
|------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| | Valores | Unidades |
| Índice de Fluidez (200°C/5 kg) | 6,5 | g/10min |
| Resistência ao Impacto IZOD | 107 | J/M |
| Resistência à tração, Ruptura | 23 | MPa |
| Elongação | 50 | % |
| Módulo de Elasticidade em tração | 2140 | MPa |
| Resistência à Flexão | 44 | MPa |
| Temperatura de Amolecimento, VICAT | 96 | °C |
| Temperatura de Deflexão a 264 psi | 90 | °C |
| Massa específica | 1,04 | g/cm ³ |

Fonte: Ficha Técnica do HIPS 825.

3.2 Biomassa da Casca do Açaí

As cascas de açaí que foram utilizadas nesse trabalho são oriundas do Estado do Pará e foram gentilmente doadas pela Prof^a Dr^a. Cirlene Fourquet Bandeira. As cascas foram lavadas, trituradas, moídas e peneiradas (peneira de 50 mesh) nos laboratórios do UniFOA.

3.3 Biomassa da Casca do Coco

As cascas de coco que foram utilizadas nesse trabalho foram adquiridas no mercado nacional. As cascas foram lavadas, trituradas, moídas e peneiradas (peneira de 50 mesh) nos laboratórios do UniFOA.

3.4 Compósitos

A incorporação das biomassas na proporção de 10% (m/m) foi realizada através de um homogeneizador termocinético marca *Dryzer*, modelo MH-50H, da empresa MH Equipamentos, disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12). Foi utilizada a quantidade em massa de 70 g por batelada em virtude de uma melhor homogeneidade observada. Vale mencionar que a velocidade foi aproximadamente 1 minuto em velocidade 1 e em seguida velocidade de fusão completa. Ao término dos processamentos das três famílias de compósitos, os mesmos foram moídos em um moinho de facas da marca Plastimax disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12).

3.5 Análise Termogravimétrica (TGA)

Este ensaio visa analisar a variação de massa em função da temperatura de exposição da amostra. As análises foram realizadas em um equipamento da marca *PerkinElmer*, série 7, modelo TGA 7, localizado no Laboratório de Análises Térmicas da UFRJ – COOPE-RJ. Este ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM E 2537.

Foi utilizada uma panela de platina com rampa de aquecimento 25 a 1000°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min, atmosfera de N₂, com fluxo gasoso 20 mL/min e massa de aproximadamente 6 mg. O equipamento foi ajustado e calibrado de acordo com as especificações do fornecedor para a utilização do mesmo.

3.6 Análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Os ensaios de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foram realizados em um equipamento marca *PerkinElmer* modelo DSC 7 na UFRJ – COOPE-RJ.

Foi usada uma panela de alumínio padrão, com uma primeira rampa de aquecimento -10 a 300°C à uma taxa de aquecimento 20°C/min e uma primeira rampa de resfriamento 300 a -10°C em um range de taxa de resfriamento 50°C/min; e uma segunda rampa de aquecimento -10 a 300°C à uma taxa de aquecimento 20°C/min; atmosfera inerte de N₂ com fluxo gasoso 20 mL/min.

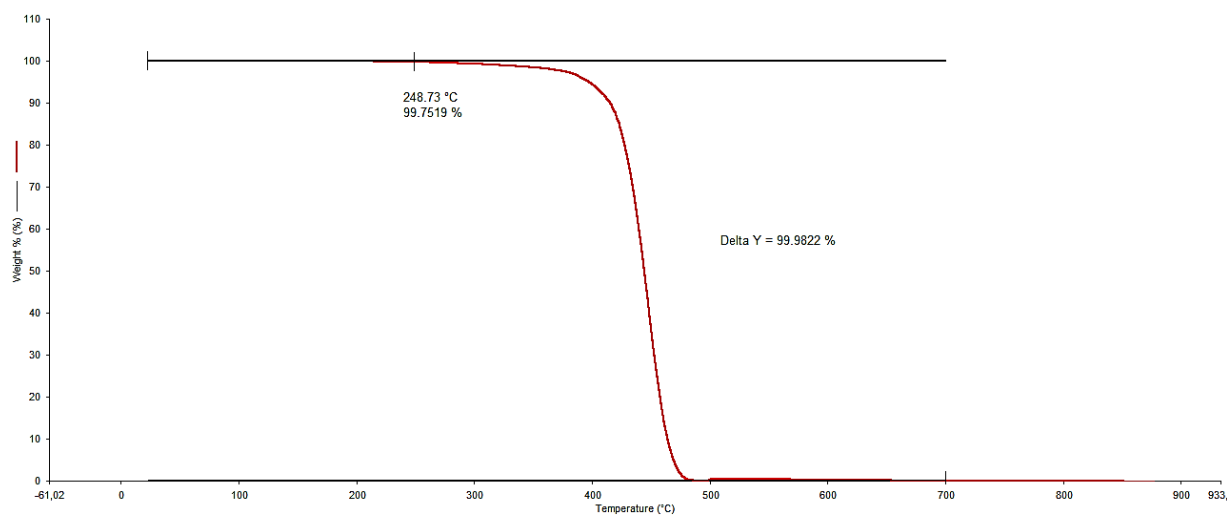
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização do HIPS puro

4.1.1 Análises de TGA e de DSC do HIPS puro

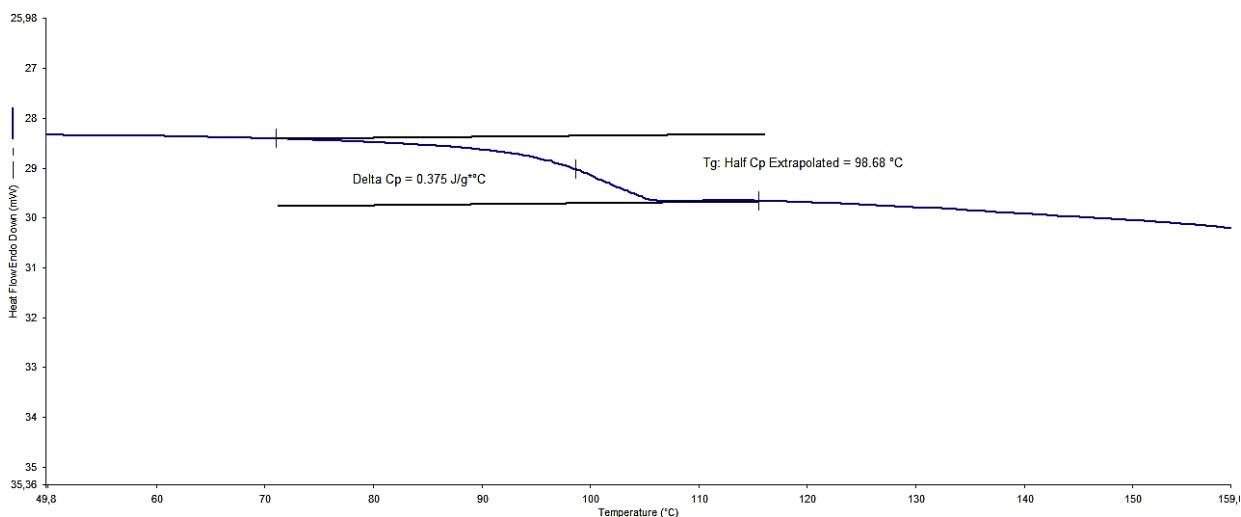
O HIPS puro apresentou apenas um patamar de degradação com temperatura inicial de degradação (T_i) em torno de 249°C (Figura 6) que correspondeu a degradação do polímero e temperatura de transição vítrea (T_g) em aproximadamente 98,9°C (Figura 7).

Figura 6: Curva de TGA do HIPS puro.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 7: Curva de DSC do HIPS puro.



Fonte: Autores, 2020.

Estes valores estão de acordo com a literatura e permitem que o mesmo seja processado com as biomassas da casca do açaí para formação do compósito.

4.2 Análises de TGA das biomassas de açaí e coco

4.2.1 TGA da biomassa de açaí

A tabela 3 apresenta todos os eventos térmicos obtidos na análise termogravimétrica da biomassa de açaí.

Tabela 3: Perda de massa e temperaturas de degradação para a biomassa de açaí.

| Amostra | ΔT (°C) | T_{pico} (°C) | T_{onset} (°C) | Perda de Massa (%) | Resíduo (%) |
|------------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|-------------|
| Biomassa de açaí | 50 - 100 | 57 | | 5,4 | |
| | 170 - 300 | 276 | 198 | 23,1 | 25,7 |
| | 300 - 380 | 335 | | 30,2 | |

Fonte: Autores, 2020.

Embora a temperatura inicial de degradação das fibras de açaí ($T_{onset} = 198^{\circ}\text{C}$) tenha ficado abaixo da temperatura de processamento dos compósitos (210°C), a perda de massa entre 200°C e 210°C foi algo em torno de 0,13%, valor que não altera as

propriedades das fibras, sendo perfeitamente possível utilizá-las como reforço na matriz de HIPS.

O patamar de queda que apresentou a temperatura de início de degradação (T_i) de aproximadamente 200°C para a amostra da biomassa de açai pode ser resultante da degradação da hemicelulose e da β -celulose presentes na casca do açai.

4.2.2 TGA da biomassa de coco

A tabela 4 apresenta todos os eventos térmicos obtidos na análise termogravimétrica da biomassa de coco.

Tabela 4: Perda de massa e temperaturas de degradação para a biomassa de coco.

| Amostra | ΔT (°C) | T_{pico} (°C) | T_{onset} (°C) | Perda de Massa (%) | Resíduo (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--|---|-------------------------------|------------------------|
| Biomassa de coco | 50 - 100 | 54 | | 6,7 | |
| | 170 - 300 | 273 | 171 | 25,5 | 23,4 |
| | 300 - 380 | 332 | | 32,1 | |

Fonte: Autores, 2020.

Embora a temperatura inicial de degradação das fibras de coco ($T_{\text{onset}} = 171^\circ\text{C}$) tenha ficado abaixo da temperatura de processamento dos compósitos (210°C), a perda de massa entre 200°C e 210°C foi algo em torno de 0,15%, valor que não altera as propriedades das fibras, sendo perfeitamente possível utilizá-las como reforço na matriz de HIPS.

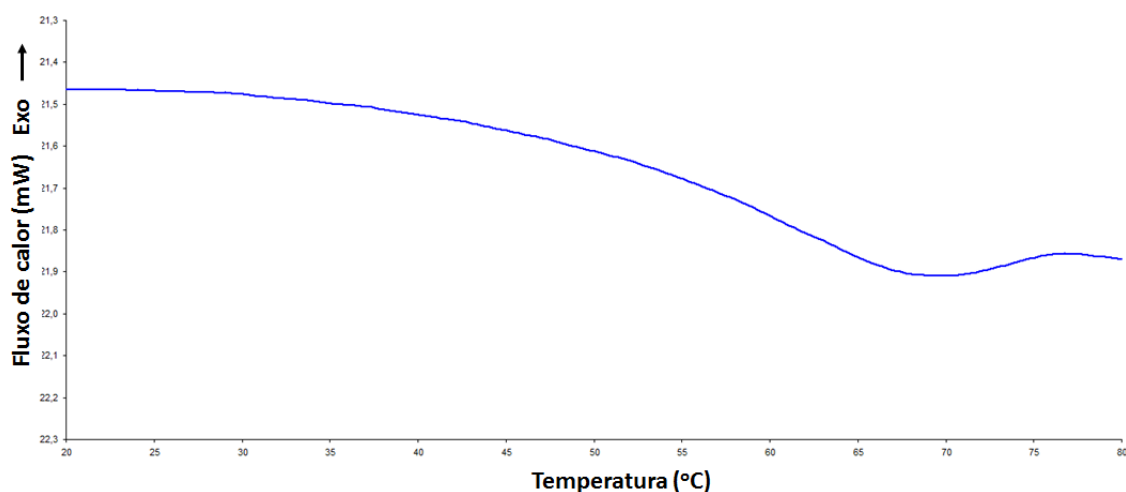
O patamar de queda que apresentou a temperatura de início de degradação (T_i) de aproximadamente 170°C para a amostra da biomassa de coco pode ser resultante da degradação da hemicelulose e da β -celulose presentes, em menor quantidade na fibra de coco, quando comparada com a fibra de açai.

4.3 Análises de DSC das biomassas de açaí e coco

A biomassa de açaí apresentou uma temperatura de transição vítrea (T_g) próxima de 60°C e a biomassa de coco apresentou uma temperatura de transição vítrea (T_g) próxima de 50°C. Em todas as biomassas, os valores de T_g encontrados foram em decorrência da transição vítrea da lignina presentes em ambas biomassas. Entretanto, não foi possível observar a fusão parcial de partículas cristalinas da lignina, uma vez que, um pico a 99,5°C, que é característico de mudança de estado físico da água, encobriu os efeitos térmicos que se desejava observar.

A Figura 8 apresenta a curva de DSC da biomassa de casca do açaí onde, por sua vez, não foi possível observar a fusão parcial de partículas cristalinas da lignina presentes na biomassa. O mesmo ocorreu com a curva de DSC da biomassa de coco e, por esse motivo, a mesma não foi apresentada no trabalho.

Figura 8: Curva de DSC da biomassa de casca do Açaí.

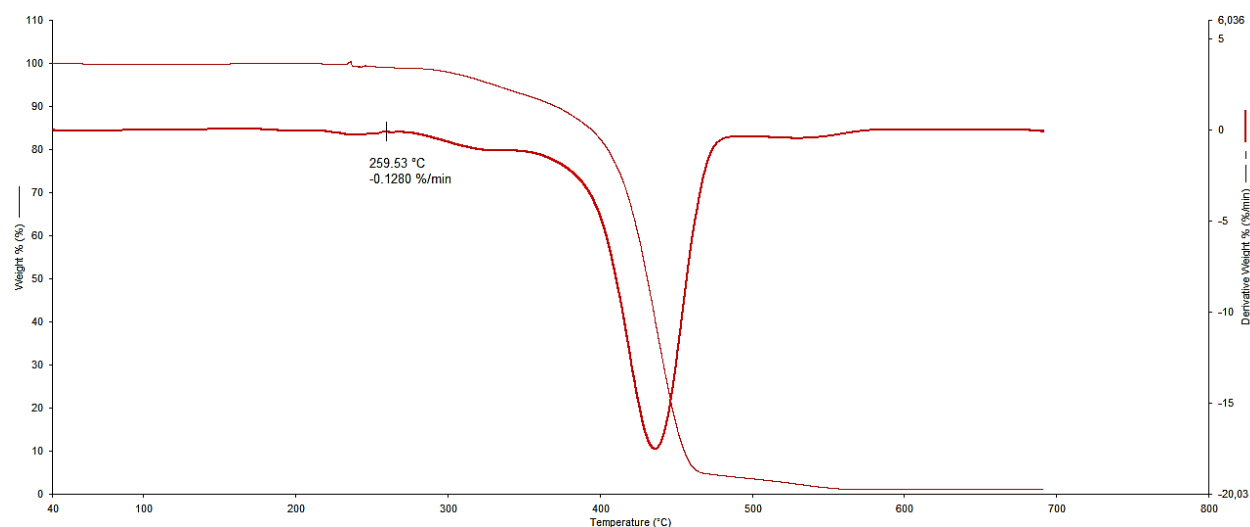


Fonte: Autores, 2020.

4.4 Análises de TGA dos compósitos de açai e coco

O compósito reforçado com a biomassa de açai, apresentou três patamares de perda de massa em temperaturas acima de 240°C, evidenciando que a degradação do polímero ocorreu simultaneamente às das biomassas, formando “ombros” nas curvas de DTG (Figura 9).

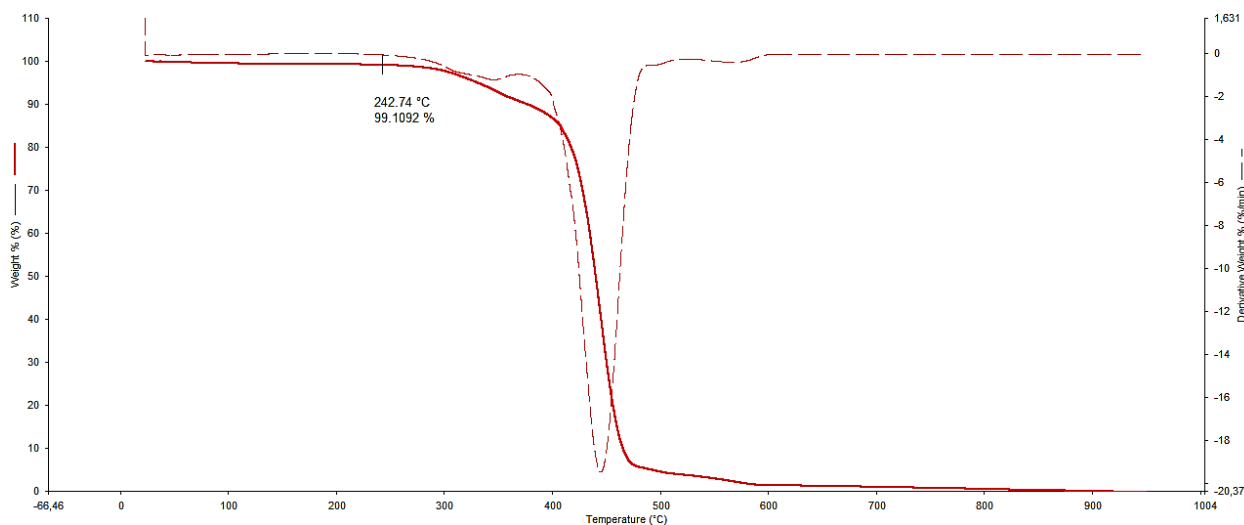
Figura 9: Curva de TGA do HIPS + 10 % de biomassa de açai.



Fonte: Autores, 2020.

O compósito reforçado com a biomassa de coco também apresentou três patamares de perda de massa em temperaturas acima de 220°C, evidenciando que a degradação do polímero ocorreu simultaneamente às das biomassas, formando “ombros” nas curvas de DTG (Figura 10), do mesmo modo que foi observado no compósito reforçado com 10% de biomassa de açai.

Figura 10: Curva de TGA do HIPS + 10 % de biomassa de coco.

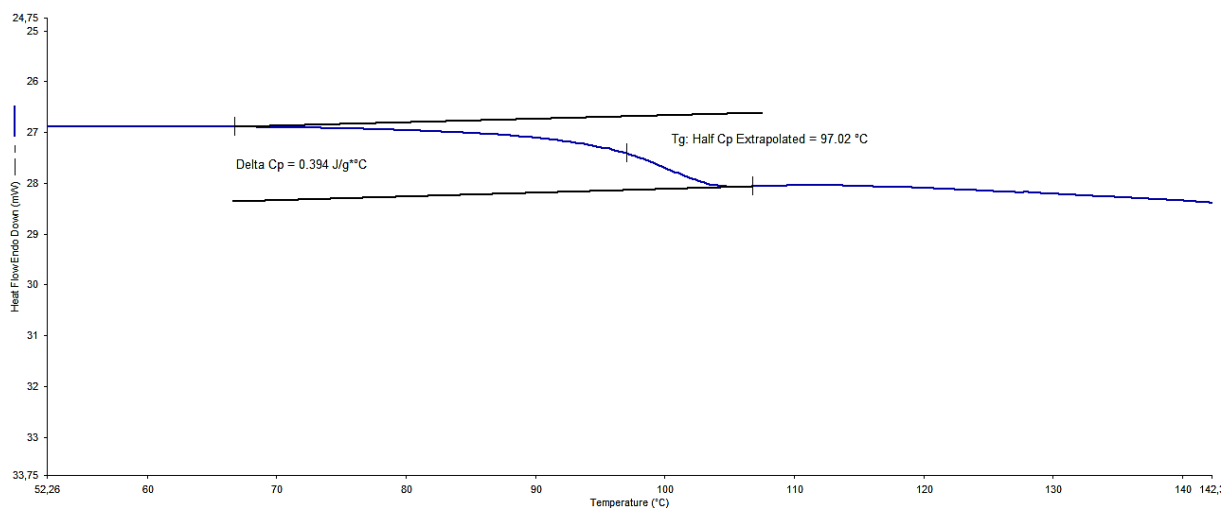


Fonte: Autores, 2020.

4.5 Análises de DSC dos compósitos de açaí e coco

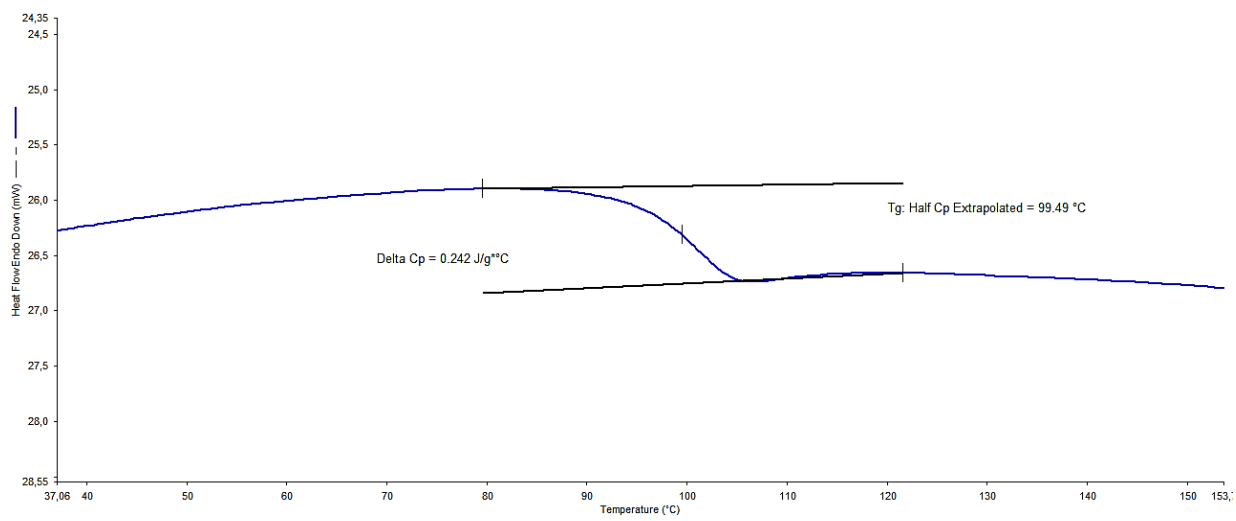
Ambas as amostras dos compósitos apresentaram apenas a T_g característica do HIPS de 99,5°C para o compósito com 10% biomassa de açaí e 97,0°C para o compósito com 10% de biomassa de coco, estando os resultados próximos ao esperado que é em torno de 100°C, por conta disso, ambas as fibras se mostraram adequadas para incorporação no compósito, sendo a fibra de açaí minimamente melhor que a de coco (Figuras 11 e 12).

Figura 11: Curva de DSC do HIPS + 10 % de biomassa de açaí.



Fonte: Autores, 2020.

Figura 12: Curva de DSC do HIPS + 10 % de biomassa de coco.



Fonte: Autores, 2020.

5 CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de biomassa de casca do açaí e da biomassa de coco no HIPS sobre algumas propriedades dos compósitos de HIPS reforçados com essas fibras e sua possível aplicação em diversas áreas.

Quanto à caracterização dos compósitos as principais conclusões foram:

1. o processo de obtenção utilizado na fabricação dos compósitos foi adequado, de forma que foi possível obter materiais homogêneos e com bom aspecto visual;

2. com a adição de fibras naturais no HIPS obteve-se um material com até 10% menos polímero e com propriedades térmicas viáveis para determinadas aplicações do HIPS;

3. a adição de biomassas de açaí e de coco na matriz polimérica do HIPS reduziu em até 29°C a estabilidade térmica do HIPS restringindo o uso do compósito para aplicações até este limite de temperatura.

4. dentre as biomassas estudadas, verificou-se que a biomassa de açaí foi a que promoveu a menor redução da estabilidade térmica do HIPS.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINANTE, S. R. et al.: **Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas.** *Quim. Nova*, v. 36, n. 1, p. 114 – 122, 2013.

ALMEIDA JÚNIOR, J. H. S.; ORNAGHI JÚNIOR, H. L.; AMICO, S. C.; AMADO, F. D. R. **Study of Hybrid Intralaminar Curauá/Glass Composites.** *Materials and Design, Elsevier*, v. 42, p. 111 – 117, 2012.

ARAÚJO, J.R. de. **Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reforçados com Fibra de Curauá obtidos por Extrusão e Injeção.** 2009. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Lignocelulósicas: HPIS/Fibra da Casca do Coco Verde e Bagaço de Cana de Açúcar.** 2011, f. 106-113. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá – SP, 2011.

BISMARCK, A.; MOHANTY, A. K.; ARANBERRI-ASKARGORTA, I.; CZAPLA, BRIGIDA, A.I.S.; CALADO, V.M.A.; GONCALVES, L.R.B.; COELHO, M.A.Z. **Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber.** *Carbohydrate Polymers*, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.

CARDOSO, P. H. M.; BASTIAN, F. L.; THIRÉ, R. M. S. M. **Produção de Laminados Compósitos de Epóxi/Fibras de Curauá.** *In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros*, Florianópolis, 2013.

CLARO, PRISCILA; CLARO, DANNY. **Sustentabilidade estratégica: existe retorno no longo prazo?** FEA USP, Revista de Administração, 2014.

CINQUETTI, H. S. **Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos.** Universidade Federal de São Carlos, 2000.

CHANDRAMOHAN, D.; BHARANICHANDAR, J.: **Natural fiber reinforced polymer composites for automobile accessories. American Journal of Environmental Science, Adelaide**, IX, n. 6, janeiro 2013. 494-504.

COSTA, A. C. A. **Obtenção e caracterização de compósitos de resina de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2018.

ESMERALDO, M. A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural**. 2006, 119f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FRYHLE, C.B.; SNYDER, S.A; SOLOMONS, T.W.G: **ORGANIC CHEMISTRY**. 12th Edition 12, 2016.

GUIMARÃES JUNIOR, M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M. **Caracterização Físico-Química de Fibras e Polpas de Bambusa Vulgaris Schrad. Para Utilização em Compósitos Poliméricos**. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, v. 33, n. 1, Caracas, junho de 2013.

HOBBSAWM, ERIC J. **A Era das Revoluções 1789 - 1848**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

JUNIOR, MARIO *et al.* **Caracterização Físico-Química de Fibra e Polpas de Bambusa Vulgaris Schrad para Utilização em Compósitos Poliméricos**. Departamento de Eletrônica CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campi Araxá, Araxá - Minas Gerais, Brasil. Doutorando em Engenharia de Materiais pela REDEMAT/UFOP-MG. 2013.

KUBURI, L. S. et al. **Effects of coir fiber loading on the physio-mechanical and morphological properties of coconut shell powder filled Low density polyethylene composites**. *Procedia Manufacturing*, v. 7, p. 138–144, 2017.

LIMA JÚNIOR, U.M. **Fibras da Semente do Açaizeiro (Euterpe Oleracea Mart.): Avaliação Quanto ao Uso como Reforço de Compósitos Fibrocimentícios**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LIMA, ELAINE; OLIVEIRA, NETO C. Revolução industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. Junho de 2017. Revista espaço acadêmico – n. 194.

MANO, ELOISA. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Oitava reimpressão - 2019. Rio de Janeiro, Editora Edgard Blucher Ltda.

MARINELLI, ALESSANDRA *et al.* **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica**. UFSCar Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais & Departamento de Engenharia de Materiais. INPA Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. 2008.

MAZUR, R.L.: **Obtenção e caracterização de compósitos de fibras de carbono/pekk com aplicações aeronáuticas**. Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2010.

MELO, SÉRGIO J., *et al.* **Química de Polímeros**. 2004, *Imprensa da Universidade de Coimbra. Obra publicada com o patrocínio da Fundação Montepio Geral, Sociedade Portuguesa de Química, Fundação para a Ciência e Tecnologia*.

MERLINI, C.; AL – QURESHI, H. A.; SALMÓRIA, G. V.; BARRA, G. M. O.; PIRES, E. N. **Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi**. *Polímeros*, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

MINTOROGO, D. S.; WIDIGDO, W. K.; JUNIWATI, A. **Application of coconut fibres as outer eco-insulation to control solar heat radiation on horizontal concrete slab rooftop**. *Procedia Engineering*, v. 125, p. 765–772, 2015.

MORAES, A. G. O. et al. Análise de Weibull para o caráter protetor do íon boroidreto no tratamento alcalino superficial de fibras de sisal. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros - Foz do Iguaçu, PR - outubro/2009.

MOREIRA, A.M.: **MATERIAIS COMPÓSITOS.** Departamento de Engenharia. Instituto Politécnico de tomar – Escola Superior de Engenharia de tomar. 2009.

NETO, F.L.; PARDINI, L.C. **Compósitos estruturais – ciência e tecnologia.** São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

MULINARI, D. R. et al. **Mechanical properties of coconut fibers reinforced polyester composites.** Procedia Engineering, v. 10, p. 2074–2079, 2011.

NOGUEIRA, C. L.: **Obtenção e Caracterização de Compósitos Termoplásticos Avançados à Base de Matrizes de Polipropileno Reforçados com Fibra de Carbono.** Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 2004.

PLASTIC RECYCLING. Apud: **Division of Mechanical & Manufacturing Engineering at the Nottingham Trent University.** Disponível em: <<http://www.domme.ntu.ac.uk/people/alotfi/personal/recycle/plastic.html>>. Acesso em: 12 março. 2020.

RAZERA, I. A. T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.** 2006.167f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

RORIZ, RENATA F. C. **Aproveitamento dos resíduos alimentícios obtidos das centrais de abastecimento do estado de goiás s/a para alimentação humana.** Universidade Federal De Goiás, 2012.

SAHA, P.; MANNA, S.; CHOWDHURY, S. R.; SEN, R.; ROY, D.; ADHIKARI, B. **Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment.** Bioresource Technology, v. 101, p.3182-3187, 2010.

SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SANCHEZ, C.G. **Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana de açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades.** *Polímeros*, v.20, p.194, 2010.

SANTOS, A. M.; AMICO, S. C.; SYDENSTRICKER, T. H. D. **Desenvolvimento de compósito híbrido polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações de engenharia** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17º CBCiMat, Foz do Iguaçu, 2006.

SILVA, R. L.; DE PAOLI, M. A.; SPINACÉ, M. A. S. **Envelhecimento Ambiental de Compósitos de Polipropileno com Fibras de Curauá.** In: Anais do 12º CBPol – Congresso Brasileiro de Polímeros, Florianópolis, 2013.

SPINACÉ, M.A.S.: **Compósitos poliméricos com fibras vegetais: Produção dos compósitos, tipos, propriedades, aplicações, desafios, limitações e perspectivas.** UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC- Centro de Ciências Naturais e Humanas, São Bernardo do Campo Maio / 2015.

TARGA, G. N.: **Compósito Reforçado por Laminado de Bambu com Matriz de Poliuretano e Epóxi: Desenvolvimento, Produção e Caracterização Mecânica.** 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Florianópolis, 2011.

TROEDEC, M. L.; SEDAN, D.; PEYRATOUT, C.; BONNET, J. P.; SIMITH, A.; GUINEBRETIRRE, R.; GLOAGUEN, V.; KRAUSZ, P. **Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres.** *Composites: Part A*, v.39, p. 514-522, 2008.

WILMOTH, JOHN, *et al.* **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU.** Publicado em junho de 2019. Disponível em: <nacoesunidas.org>. Acessado em novembro de 2019.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE, WWF. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.**

ZANIRATO, SILVA; ROTONDARO, TATIANA. **Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade.** Estudos avançados, 2016.