

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

ELAINE CRISTINA CAMACHO HIAMAGUTI
SABRINA DE JESUS OLIVEIRA COZZOLINO

**REINTRODUÇÃO DO RESÍDUO DE AÇAÍ NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITO COM
RESINA TERMORRÍGIDA EPÓXI**

VOLTA REDONDA,

RJ 2020

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

**REINTRODUÇÃO DO RESÍDUO DE AÇÁI NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITO COM
RESINA TERMORRÍGIDA EPÓXI**

Monografia apresentada à banca examinadora do Centro Universitário de Volta Redonda como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental

Alunas: Elaine Cristina Camacho Hiamaguti e

Sabrina de Jesus Oliveira Cozzolino

Orientadora: Profa. Dra. Cirlene Fourquet
Bandeira

VOLTA REDONDA,

RJ 2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

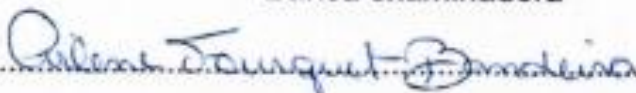
Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **REINTRODUÇÃO DO RESÍDUO DE AÇAI NA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITO COM RESINA TERMORRÍGIDA EPÓXI.**

Elaborado por **ELAINE CRISTINA CAMACHO HIAMAGUTI, MATRÍCULA: 201520189** E **SABRINA DE JESUS OLIVEIRA COZZOLINO, MATRÍCULA: 201510380.**

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

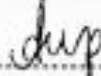
Aprovada em 17 de Junho de 2020.

Banca examinadora



Professora Orientadora

Prof.^a Dra. Cirlene Forquet Bandeira, UniFOA



Professora Avaliadora

Prof.^a Dra. Ana Carolina Callegario Pereira, UniFOA


Professor Avaliador

Prof.^o Dr. Sergio Roberto Montoro, UniFOA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossas vidas, pois sem ele não teríamos chegado até aqui. Através do dom da inteligência concedido por Ele conseguimos realizar este trabalho com excelência.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente à Deus por mais essa vitória, concluindo este trabalho com êxito e por todas as outras conquistas e derrotas que serviram de aprendizado e amadurecimento ao longo dessa jornada.

À minha amada mãe, Mariangela Rosa de Jesus que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos da minha vida, me apoiando ou puxando minha orelha com muito amor sempre visando o melhor para mim. Mãe, amiga, essencial na minha vida onde nunca permitiu que eu desistisse dessa árdua caminhada.

Ao meu amado esposo José Cozzolino Neto, aquele que é meu companheiro dos bons e maus momentos, pela paciência, amor e carinho ao compreender, apoiar e suportar diariamente todos os meus momentos de estresse, dificuldades e descrença da minha capacidade durante o processo.

Aos meus irmãos Gabriel de Jesus Mello e Hugo Rafael de Jesus Mello, que são a razão da minha existência, motivo da minha felicidade e força diária, onde tenho compreensão e boas risadas nos dias de cansaço e estresse dessa caminhada. – Sabrina Cozzolino.

Aos meus queridos pais Erlei Camacho e Celeste Aparecida Camacho por estarem sempre ao meu lado, me apoiando nessa trajetória e por terem me ensinado valores que foram fundamentais para o meu desenvolvimento.

Ao meu amado esposo Magno Hiamaguti que sempre esteve ao meu lado, nos momentos mais difíceis, acreditando nos meus sonhos e me dando suporte emocional.

Ao meu amado filho Jhonatan Hiamaguti pela sua existência, que deu sentido à minha vida e me deixou ainda mais forte para enfrentar qualquer desafio e por sua compreensão pelos momentos que estive ausente, me dedicando aos estudos – Elaine Hiamaguti.

À nossa orientadora Cirlene Fourquet por sua valiosa contribuição, empenho, paciência e confiança acreditando sempre no nosso potencial. Pela sua incansável dedicação, pois sem ela não seria possível alcançar este sonho.

A todos os professores e coordenadora que através da dedicação, empenho e amor à profissão foram capazes de desempenhar um excelente papel de mediador entre nós e o conhecimento visando proporcionar o melhor aprendizado possível através de aulas dinâmicas.

Aos amigos de curso, que estiveram presentes nos inúmeros desafios que enfrentamos sendo sempre solícitos, cooperando com o aprendizado trazendo mais leveza para essa caminhada através dos momentos de descontração, amizade e companheirismo.

Ao Centro Universitário de Volta Redonda, onde sempre encontramos os recursos necessários para evoluirmos e alcançarmos todas as metas.

RESUMO

Nas últimas décadas, a agroindústria vem crescendo em todo o Brasil. Entretanto, seus resíduos vêm causando grandes impactos ambientais. No intuito de mitigar o descarte destes materiais e de cumprir as leis vigentes, vários estudos têm sido realizados. Uma das vertentes estudadas, trata da utilização de biomassas na produção de compósitos que além de diminuir a quantidade de materiais poliméricos na peça, reduz o percentual de descarte desta biomassa e dos polímeros, apresenta muitas vezes, melhoras nas características do produto e uma considerável diminuição do preço final. Devido ao exposto, o presente trabalho tem por objetivo manufacturar três compósitos de resina epóxi e biomassa de açaí, visando o reaproveitamento da biomassa para a mitigação dos problemas ambientais causados por seu descarte inadequado, especialmente na região norte do país. Os corpos de prova apresentam 5%, 10% e 20% de biomassa com um ciclo de cura de 48h à temperatura ambiente e foram analisados via TGA e DSC para determinar o grau de cura que se mostrou completo (100%) após o período estipulado, as temperaturas de decomposição (*onset*) que apresentaram diminuição com o aumento do resíduo de açaí, e que limitam o compósito a uma temperatura máxima de trabalho de 207°C (temperatura inicial de degradação da biomassa) e de transição vítrea que aumentou, em relação a resina pura ($T_g = 72,9^{\circ}\text{C}$), com o acréscimo de biomassa. Além disso, foi feita uma comparação com a resina pura que mostrou uma diminuição na velocidade de queima do compósito com o aumento da biomassa.

Palavras-chave: Compósitos verdes; DSC, TGA, Reciclagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de classificação dos materiais compósitos.....	19
Figura 2.	Corte transversal do caroço do açaí.....	20
Figura 3.	Estados produtores de açaí no Brasil no ano de 2019.....	21
Figura 4.	Resíduo de açaí.....	22
Figura 5.	Grupamentos epóxi.....	23
Figura 6.	Etapas do processo de cura: (a) Etapa inicial: a partir de um monômero, (b) Segunda etapa: ocorre a formação de oligômeros; (c) Terceira etapa: ocorre a polimerização atingindo o ponto de gel; (d) Etapa final: cura.....	24
Figura 7.	Moagem da biomassa de açaí.....	28
Figura 8.	Processo de fabricação dos corpos de prova com moldes de silicone.....	29
Figura 9.	Corpos de provas apenas com resina, com 5%, 10% e 20% de biomassa.....	32
Figura 10.	Corrida de DSC da biomassa do açaí.....	33
Figura 11.	Corrida de DSC da resina mais endurecedor não curados na proporção de 2:1.....	34
Figura 12.	Primeiro aquecimento das curvas de DSC da resina pura e acrescida de 5%, 10% e 20% de biomassa de açaí.....	34
Figura 13.	Segundo aquecimento das curvas de DSC da resina pura e acrescida de 5%, 10% e 20% de biomassa de açaí.....	35
Figura 14.	Curva de TGA da biomassa do açaí.....	36
Figura 15.	Curva de TGA da resina pura curada.....	37
Figura 16.	Curva de TGA da resina pura e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de biomassa do açaí.....	38

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Cálculo do % de massa e fibras.....	28
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas de transição vítrea da resina pura e dos compósitos com açai.....	35
Tabela 2 - Temperaturas de <i>onset</i> e <i>endset</i> do ensaio de TGA da resina pura e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de biomassa de açai.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema abordado	15
1.2 Justificativa	15
1.3 Estratégias de pesquisa	15
1.4 Estrutura do projeto	16
1.5 Objetivo Geral	17
1.5.1 Objetivos Específicos	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Compósitos	18
2.2 Açaí	19
2.3 Epóxi	22
2.4 Cura da resina	23
2.5 Problemas Ambientais	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 Materiais	26
3.1.1 Fase matriz - resina epóxi	26
3.1.2 Fase dispersa - biomassa do resíduo de açaí	27
3.2 Métodos	27
3.2.1 Obtenção da biomassa de açaí	27
3.2.2 Obtenção dos Corpos de prova	30
3.2.3 Inspeção visual	30
3.2.4 Ensaios de DSC	30
3.2.5 Ensaios de TGA	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Inspeção visual	32
4.2 Ensaios de DSC	32
4.3 Ensaios de TGA	36
5. CONCLUSÕES	39
6. TRABALHOS FUTUROS	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE ABREVIações

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL

DSC - CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E ESTATÍSTICA

NBR - NORMA BRASILEIRA

TGA - ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

T_g - TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO VÍTREA

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

1. INTRODUÇÃO

A agroindústria vem crescendo em todo o Brasil devido a políticas públicas que visam aumentar a produção e a exportação destes insumos com valor agregado maior. Entretanto isso vem causando grandes impactos ambientais visto que os resíduos resultantes deste processamento são descartados em grandes quantidades e muitas vezes de forma incorreta em lixões gerando poluição, contaminando o ar, solo e lençol freático, através da eliminação de gases e chorume ou até auxiliando na proliferação de vetores que causam doenças na população (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Devido a esses fatores, e a leis ambientais cada vez mais rígidas, inúmeras propostas têm sido feitas no intuito de mitigar ou eliminar completamente o descarte de produtos desta natureza (CARVALHO, 2015; CARVALHO, 2019, COSTA, 2018, MILANESSE, 2012).

Uma das vertentes utilizadas para redução destes resíduos é o reaproveitamento destas biomassas, com sua reintrodução no ciclo produtivo (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Dentro deste contexto, os compósitos vêm se destacando como uma alternativa duplamente interessante de trabalho, visto que além de reutilizar esses resíduos da agroindústria, tem seu teor de material polimérico, que na maioria das vezes são de origem não renovável, reduzido na composição das peças, acarretando redução de custo, menor tempo de degradação e, em alguns casos, a melhora em suas propriedades (BANDEIRA, 2015; BRANDÃO, 2015; CARVALHO, 2015; CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; LEÃO, 2008).

Devido ao que foi exposto, inúmeros trabalhos têm reutilizado biomassa para fabricação de “compósitos verdes”. No entanto, poucas são as literaturas que fazem menção do uso de resíduos provenientes do despulpamento do açaí para fabricação de compósitos, especialmente quando a finalidade é a produção de pisos e/ou móveis (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; OLIVEIRA, 2018).

Os resíduos do açaí são provenientes do despulpamento dos frutos da palmeira *Euterpe Oleracea Mart* e sua produção vem ganhando destaque como uma fonte de renda alternativa para as comunidades mais pobres da região norte do Brasil. No entanto, os resíduos são, na maioria das vezes, descartados de forma incorreta em lixões ou tem seu uso restrito a produção de briquetes para geração de energia, como adubo, para manufatura de artefatos ou como carga na produção de materiais para diminuir o valor final das peças. Entretanto, esta biomassa pode vir a ser utilizada como um reforço em compósitos poliméricos com autovalor agregado (BENINI, 2011; CARVALHO, 2019; COSTA, 2018; DONG; DAVIES, 2012; LEÃO, 2008; SANJAY, 2016).

No caso dos compósitos provenientes do açaí, uma série de resinas podem ser utilizadas como matriz, entretanto, a resina epóxi se apresenta como uma opção viável devido a sua alta resistência, boas propriedades térmicas e facilidade de obtenção (BANDEIRA, 2011; CARVALHO, 2015; COSTA, 2018).

Sendo assim, este trabalho de conclusão de curso, tendo em vista a necessidade crescente do mercado, visa a fabricação de compósitos de açaí com resina epóxi para o desenvolvimento e domínio desta tecnologia e as caracterizações térmica destes materiais.

1.1 Problema abordado

No contexto de mitigar o descarte de materiais lignocelulósicos, a principal questão é: qual o maior teor de biomassa que pode ser inserido ao compósito sem modificar as características da resina pura e/ou, se possível, acrescentar qualidades ao produto final?

1.2 Justificativa

A relevância do trabalho se dá no âmbito social, ambiental e econômico.

No tópico ambiental, o reaproveitamento do resíduo de açaí diminui consideravelmente o descarte do mesmo, além de contribuir de forma significativa para a preservação das florestas da região uma vez que boa parte deste material será utilizado como artefato na indústria moveleira e de pisos de madeira;

No âmbito econômico ele vai gerar um produto com valor agregado maior que pode servir de renda para a população ribeirinha desta região norte do Brasil;

Na esfera social pode ser citado a diminuição dos vetores devido a mitigação do descarte incorreto, melhorando a higiene e a saúde da população.

1.3 Estratégias de pesquisa

Como estratégia de pesquisa foram adotados procedimentos experimentais a partir de dados coletados nos ensaios realizados em laboratórios do UniFOA e bibliográfico, realizado mediante consulta à literatura pertinente em sites, publicações, artigos, dissertações e teses.

1.4 Estrutura do projeto

A unidade 1 apresenta a metodologia desenvolvida para a execução do presente trabalho. Ela foi planejada de forma sistemática e visa abordar todas as etapas relacionadas.

As demais unidades desta dissertação são estruturadas de forma a detalhar os tópicos abordados.

A unidade 2 apresenta uma revisão bibliográfica e aborda temas relevantes à elaboração desta pesquisa, com informações acerca das resinas epóxi, da biomassa de açai e dos materiais compósitos.

A unidade 3 engloba o tópico de materiais e métodos utilizados e descreve as técnicas de caracterização (TGA e DSC) utilizadas para avaliar as amostras estudadas e a metodologia de cura e preparo dos corpos de prova.

A unidade 4 trata dos Resultados e Discussão e fornece as informações obtidas com os ensaios de caracterização dos compósitos de açai/resina epóxi. Também é discutida a influência dos percentuais de reforço em relação a resina pura.

Na unidade 5, Considerações Finais, explana sobre as conclusões que foram possíveis de serem feitas.

As referências consultadas se apresentam em ordem alfabética, segundo a norma ABNT NBR 10520 no tópico Referências Bibliográficas.

1.5 Objetivo Geral

Manufaturar e caracterizar três compósitos de resina epóxi e biomassa provenientes da moagem do açaí de forma a reaproveitar esse resíduo e testar o melhor percentual.

1.5.1 Objetivos Específicos

- Fabricar compósitos com 5%, 10% e 20% v/v de biomassa em relação a matriz;
- Caracterizar as temperaturas de decomposição e transição vítrea dos compósitos fabricados e com isso determinar faixas de aplicabilidade do produto final;
- Criar subsídios tecnológicos que permitam aos alunos do UniFOA expertise na área de processamento de compósitos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Compósitos

Os compósitos podem ser de origem sintética ou natural, e são conhecidos desde os primórdios da humanidade, com registros de seu uso, já no Egito antigo, em tijolos oriundos da mistura de palha e capim. Entretanto, sua aplicação ganhou impulso com o advento da Revolução Industrial, que trouxe consigo, uma necessidade de novos materiais que atendessem a demanda do mercado com suas aplicações específicas (COSTA, 2018; CARVALHO, 2015; CARVALHO, 2019)

Estes materiais são formados pela junção de dois ou mais constituintes que ao serem misturados apresentam características melhores que as dos materiais que os formaram originalmente e ajudam ao meio ambiente. Dentre estas podem ser mencionadas as propriedades mecânicas, tais como dureza, impacto, flexão, tração e resistência térmica (VIDAL, 2014).

Eles apresentam duas fases distintas denominadas de matriz e reforço. Sendo que a fase matriz pode ser um material polimérico, um metal ou cerâmica que funciona como uma proteção contra umidade, ataques químicos, além de transferir os esforços para a fase do reforço que pode se apresentar na forma de um particulado, fibras contínuas ou descontínuas e fornece, geralmente, resistência e rigidez ao compósito (Figura 1) (VIDAL, 2014; CARVALHO, 2015).

A adesão entre os constituintes dos compósitos está associada às interações que podem ser dos tipos: interações eletrostáticas, ligações covalentes, ligações de hidrogênio e forças de van der Waals e estão intimamente ligadas à afinidade química entre as fases matriz e o reforço. Além disto, é comum, que a matriz apresente natureza hidrofóbica, enquanto que a fase dispersa apresenta natureza hidrofílica (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013).

Dentre os compósitos, os reforçados com materiais de origem vegetal, vêm ganhando mercado, principalmente, por serem de fontes renováveis, biodegradáveis e

apresentarem boas características mecânicas (COSTA, 2018; MILANESE, 2012; VIDAL, 2014).



Figura 1: Esquema de classificação dos materiais compósitos.

Fonte: COSTA, (2018).

Estes reforços lignocelulósicos tem ampla aplicabilidade, sendo que a biomassa pode ser extraída de diferentes partes das plantas tais como do caule, da folha e do fruto. Desta forma, dependendo de sua origem, esses materiais são consideravelmente distintos uns dos outros quanto as suas propriedades físicas, químicas e mecânicas (COSTA, 2018; SILVA, 2014).

Além disto, estas biomassas são menos agressivas e tóxicas e são de baixo ou nenhum custo, estão disponíveis em abundância na natureza, o que contribui para um desenvolvimento sustentável, evitando a poluição causada por resíduos não biodegradáveis e reutilizando materiais que seriam descartados (SILVA, 2014).

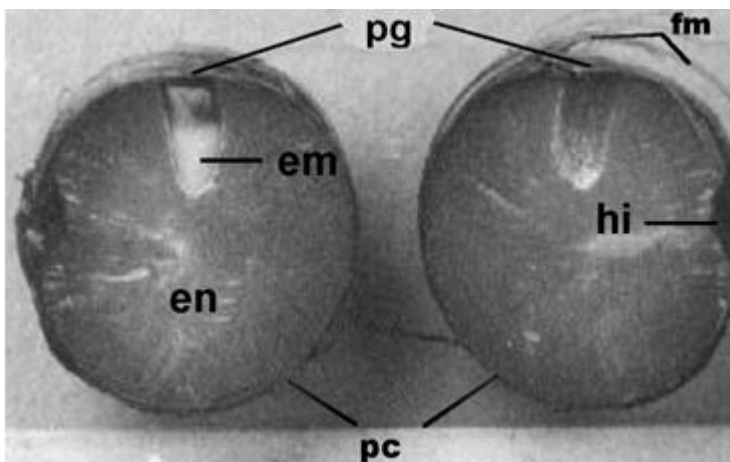
2.2 Açaí

O açaizeiro, árvore nativa da América Central e do Sul, é considerada a espécie mais produtiva da região amazônica. Diferenciando-se das demais espécies por possuir um fruto vastamente consumido nessa região do país (CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018).

O Brasil, é considerado o país que mais produz, consome e exporta açaí no mundo. Este pequeno fruto conquistou atenção internacional nos últimos anos, deixando de ser um alimento unicamente regional e passando a ser consumido também em grandes capitais brasileiras, além de ser exportado para vários países como China, Japão, Europa e Estados Unidos (CARVALHO, 2019; CEDRIM; BARROS; NASCIMENTO, 2018).

O açaizeiro tem uma vasta aplicação, podendo ser utilizado desde a alimentação, produção de celulose, ração animal, material de construção, artesanatos e até mesmo na produção de medicamentos (GEHLEN, 2014).

A semente do açaí é formada pela polpa, endocarpo, tegumento, endosperma, embrião e cicatriz (Figura 2). A parte consumida do fruto limita-se somente a polpa, pequena parte localizada na área externa do fruto, gerando como resíduo o caroço que se encontra internamente e parte da casca. O mesmo gera problemas ambientais causados por seu descarte, principalmente na região norte do país, onde sua produção e consumo são relevantes (CARVALHO, 2019; GEHLEN, 2014).



Legenda:

em - embrião;

en - endosperma;

fm - fibras mesocárpicas;

hi - hilo;

pc - pericarpo;

pg - poro germinativo;

Figura 2: Corte transversal do caroço do açaí.

Fonte: CARVALHO (2019).

O estado do Pará é o maior produtor de açaí do Brasil, sendo responsável por 95% de toda produção do fruto no país (Figura 3). Do total produzido no estado, 60% permanecem no estado do Pará, 35% são destinados a outros estados brasileiros e 5% são exportados para outros países, sendo os Estados Unidos um dos principais consumidores. O segundo estado com maior produção de açaí no Brasil é o Amazonas, com 52 mil toneladas, seguido por Roraima com apenas 3,5 mil toneladas no ano de 2019, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (SAUMA; MAIA, 2019).



Figura 3: Estados produtores de açaí no Brasil no ano de 2019.

Fonte: SAUMA; MAIA, (2019).

O estado do Pará, responsável pela maior produção de açaí é um estado com alta geração de resíduos decorrente do processamento deste fruto, o que causa grande preocupação em relação ao descarte incorreto. Geralmente, o caroço de açaí e parte da casca são descartados juntos ao resíduo doméstico, despejados nos canais ou a céu aberto, podendo causar alagamentos, assoreamentos e grandes sacas de resíduos nas calçadas sendo fonte de vetores de doenças. Segundo Padilha, Canto e Rendeiro (2006), a geração de sacas de resíduo de açaí no estado do Pará é de aproximadamente 5.707 por dia (Figura 4) (MONTEIRO; COSTA; PINHEIRO, 2017).



Figura 4: Resíduo de açai.

Fonte: AUTORAS, (2020).

2.3 Epóxi

As resinas epóxi são polímeros da família dos termorrígidos que foram introduzidas no mercado logo após a Segunda Guerra Mundial e podem ser consideradas um avanço em termos tecnológico por apresentarem características mecânicas e químicas melhores que demais resinas termorrígidas convencionais (BANDEIRA, 2011).

Estas resinas possuem, em suas moléculas, um ou vários grupos epóxi, tem uma alta resistência mecânica, química e de isolamento elétrico e, por isso, a sua utilização varia muito, indo de pisos, material elétrico e isolante, até peças decorativas (BANDEIRA, 2011; BARNEY, et al., 1995; COSTA, 2009).

Seu processo de cura engloba o uso de agentes de cura (catalisador ou endurecedor) e sua fabricação pode se dar pela dehidrohalogenação da cloridrina ou pela reação de olefinas com compostos contendo oxigênio, sendo as resinas epóxi mais frequentes do que as que são produtos de uma reação entre a epiclорidrina e o bisfenol-A (BARNEY, et al., 1995; COSTA, 2009; BRAGA, 2010).

Além disto, outros produtos podem ser acrescentados a essa formulação básica, tais como: agentes antiespumantes, diluentes, cargas, dentre outros (BAUER, 1989; COSTA, 2002; HERNANDES, 1995).

A palavra epóxi se refere a um grupo formado por um átomo de oxigênio ligado a dois átomos de carbono, daí o nome que deriva do grego e significa sobre ("EPI") e do inglês oxigênio ("OXI"). Dentre esta classe de resinas a mais simples é formada por um anel com três membros (α -epóxi). Desta forma, estas resinas são definidas como moléculas que possuem, em sua composição, dois ou mais grupos α -epóxi (Figura 5) (COSTA, 2002; HERNANDES, 1995; LEE; NEVILLE, 1967; MAY, 1988).



Figura 5: Grupamentos epóxi.

Fonte: BANDEIRA, (2011).

Além disto, essas resinas, apresentam baixo índice de absorção de umidade, uma contração pequena durante o processo de cura, um processamento fácil, boa elasticidade e baixo custo. Quando no estado líquido, a resina epóxi possui baixa viscosidade, tornando seu manuseio mais prático, podendo ser curada rapidamente na faixa entre 5 a 150°C. Depois de curada, apresenta boa resistência a ácidos e reagentes cáusticos (ROCHA et al., 2017; SILVA; SILVA; GARCIA, 2018).

2.4 Cura da resina

O processo de cura dos materiais termorrígidos se baseia na formação de ligações cruzadas durante a polimerização (BANDEIRA, 2015).

Este processo se divide em quatro estágios a seguir descritos (Figura 6) (CARVALHO, 2019):

- a) Os monômeros estão dispersos na solução;
- b) Ocorre a formação de oligômeros devido ao aumento da temperatura ou do tempo de exposição da resina a uma determinada condição;
- c) Atinge-se a temperatura de gel devido ao aumento da massa molar que ocorre pela união dos oligômeros com formação das cadeias lineares que se ramificam;
- d) Cura completa com todas as ligações cruzadas completas.

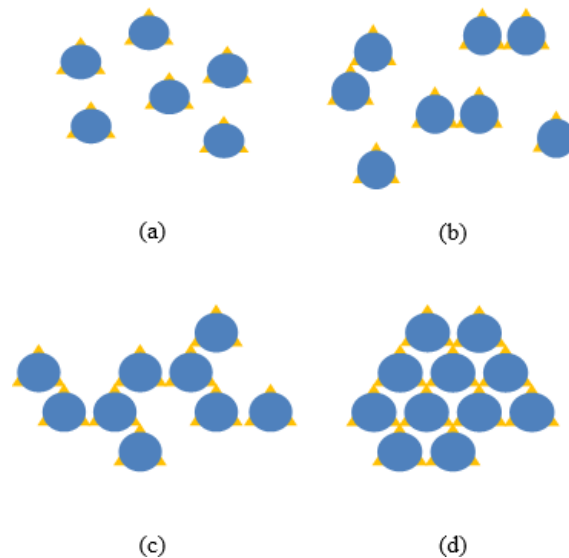


Figura 6: Etapas do processo de cura: (a) Etapa inicial: a partir de um monômero, (b) Segunda etapa: ocorre a formação de oligômeros; (c) Terceira etapa: ocorre a polimerização atingindo o ponto de gel; (d) Etapa final: cura.

Fonte: COSTA, (2018).

Com o aumento das reticulações, ocorre um aumento da temperatura de transição vítrea devido às restrições dos movimentos rotacionais e translacionais entre as cadeias que necessitam de uma grande energia para se movimentarem ou serem rompidas,

causando com isso, a degradação destes materiais com o aquecimento (BANDEIRA, 2015; COSTA, 2018; COSTA; REZENDE; PARDINI, 1999; FERRARI, 2005).

2.5 Problemas Ambientais

A maioria das cidades do Brasil não possui uma coleta de resíduos com separação (MUCELIN; BELLINI, 2008).

Segundo pesquisas do IBGE, em 2008, 65% do resíduo domiciliar era composto por matéria orgânica que poderia ser reaproveitada e reintroduzida no ciclo produtivo caso a população fizesse a separação e dessem a destinação adequada. Este percentual de descarte vem aumentando, e de 2016 para 2017, o despejo inadequado do resíduo cresceu 3%, apresentando, uma produção média de 378 kg de resíduo por habitante no Brasil em 2017 (BAST, 2018; MUCELIN; BELLINI, 2008).

Com isso, seria possível diminuir, no mínimo, 65% do volume de lixões que só fazem amontoar e crescer a quantidade de resíduos em locais indevidos causando grandes impactos ambientais negativos como: o chorume que contamina os solos e lençóis freáticos, o gás metano que polui a atmosfera, a compactação dos solos, a inutilização de uma área grande de solo que poderia ser aproveitado para outros meios e etc. (MUCELIN; BELLINI, 2008).

A esses problemas ambientais, vem sendo somado, nos últimos anos, os impactos ambientais decorrentes da exploração do meio ambiente.

Neste contexto, estão inseridas as corporações que, em busca de lucro fácil e rápido, não cumprem as leis ambientais vigentes, causando diversos problemas ambientais no campo. Dentre estes problemas, os mais evidentes são o desmatamento, a degradação do solo, o esgotamento dos mananciais, a contaminação do solo, ar e água e geração de resíduos (SILVA, 2020).

Um destes resíduos é a biomassa proveniente da moagem do açaí que vem causando sérios problemas no norte do país (CARVALHO, 2019).

Entretanto, ele pode vir a ser reinserido no processo de produção de materiais, especialmente para fabricação de placas que possibilitem seu uso na indústria moveleira, diminuindo sua deposição e o desmatamento e contribuindo para a geração de renda para população de baixa renda (CARVALHO, 2019; GEHLEN, 2014).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

3.1.1 Fase matriz - resina epóxi

A resina epóxi utilizada foi a 2004 BB com endurecedor SQ-3140 da marca Redelease, obtida na distribuidora autorizada Redecenter em Volta Redonda- R.J.

Esta resina é resultante da reação da Epicloridrina com o Bisfenol A, modificada com alil glicidil éter e se apresenta no estado líquido.

Já o endurecedor é uma poliamida que apresenta boa resistência química, mecânica e térmica, baixa liberação de calor durante a cura e boa solubilidade na resina o que permite uma boa adesão e uma cura homogênea com velocidade e propriedades finais bastante controláveis.

De acordo com o data *sheet* do fabricante, a 2004 BB se apresenta como um líquido translúcido com viscosidade à 20°C entre 500 a 800 cPs e peso específico à 20°C de 1,11 +/- 0,01 g.cm⁻³.

Já o endurecedor é um líquido âmbar com viscosidade à 20°C de 11.000 +/- 1000 cPs e peso específico à 20°C de 0,96 +/- 0,01 g.cm⁻³.

Além disto, a proporção de mistura (Resina: Endurecedor) é de 2:1 em peso, a temperatura de manipulação fica entre 18 e 30°C, o tempo de utilização da mistura (*gel time*) a 20°C é de 45 a 60 min, o tempo de endurecimento da mistura (20°C) é de 90 a 180 min e a cura total a 20°C demora de 36 a 48 horas.

3.1.2 Fase dispersa – biomassa do resíduo de açaí

A biomassa de açaí que foi utilizada no presente trabalho é originária do açaizeiro, espécie abundantemente encontrada na região norte do Brasil e foi coletada nas ruas de Belém do Pará – Brasil como resultado da moagem do fruto para obtenção da polpa para consumo.

3.2 Métodos

A metodologia utilizada seguiu a seguinte cronologia:

- I. Aquisição dos materiais;
- II. Fabricação dos corpos de prova;
- III. Processo de cura;
- IV. Análise térmica via DSC (Calorimetria Exploratória Diferencial) e TGA (Análise Termogravimétrica) para determinar a cura e as temperaturas de decomposição e transição vítrea.

3.2.1 Obtenção da biomassa de açaí

Os resíduos da moagem do açaí, já lavados em água corrente e secos, para eliminação da polpa residual, foram separados utilizando-se peneiras com tela de inox que permitiam a passagem dos resíduos da casca, mas reteve as sementes com o mesocarpo (ASTM 4 *Mesh* e ASTM 200 *Mesh*).

Esses resíduos da casca que ficaram retidos na peneira de 200 *Mesh*, foram moídos em um moinho para grãos da marca Botine, modelo B55, adquirido na loja Emerson de Castro de Oliveira em São Paulo (SP) e peneirado para separação em dois

lotes. O primeiro lote com granulometria superior a 50 *Mesh* e o segundo, usado neste trabalho, com granulometria inferior a 50 *Mesh* (Figura 7).



Figura 7: Moagem da biomassa de açai.

Fonte: AUTORAS, (2020).

3.2.2 Obtenção dos corpos de prova

Os compósitos foram feitos pela mistura manual da resina epóxi 2004 BB e endurecedor SQ-3140 na proporção de 2:1 respectivamente com a biomassa de açai passante em peneira de 50 *Mesh* após a mesma ser seca em estufa a 100°C por 24 h e resfriada em dessecador.

Foram produzidos os corpos de prova da resina pura e com 5%, 10% e 20% v/v de biomassa usando-se a equação (1) para cálculo das massas de resina/biomassa a serem utilizadas.

$$\frac{m_r}{m_f} = \frac{\rho_r}{\rho_f} * \frac{1 - f}{f}$$

(1)

Onde m_f é a massa, em gramas, da biomassa; m_r é a massa, em gramas, da resina; ρ_f é a massa específica da biomassa em gramas por centímetro cúbico; ρ_r é a massa específica da resina em gramas por centímetro cúbico e f é o percentual de biomassa que se quer utilizar.

Para a massa específica da resina foi utilizado a fornecida pelo fabricante ($1,11 \pm 0,01 \text{ g.cm}^{-3}$) e para a biomassa utilizou-se a massa específica determinada na Dissertação do Mestrado Profissional de Materiais de Carvalho (2019) que foi de $1,11 \pm 0,05 \text{ g.cm}^{-3}$.

O material resultante foi colocado nos moldes de silicone (Figura 8) e curado a temperatura ambiente ($\sim 25^\circ\text{C}$) por 48 h.



Figura 8: Processo de fabricação dos corpos de prova com moldes de silicone.

Fonte: AUTORAS, (2020).

3.2.3 Inspeção visual

Os corpos de prova fabricados foram avaliados, inicialmente, por inspeção visual para determinar a existência de porosidade superficial provenientes do processo de

fabricação, bolhas, ou qualquer outra falha decorrente do processo ao qual o material foi submetido.

3.2.4 Ensaio de DSC

O DSC é uma técnica de análise térmica onde as diferenças no fluxo de calor da amostra e da referência são medidas, enquanto ambas são submetidas a um programa de temperatura controlada (BANDEIRA, 2015).

O ensaio foi realizado em um equipamento da marca *PerkinElmer* Ltda. modelo DSC 7, localizado na UNESP de Guaratinguetá e sua performance, calibração e ajustes estão de acordo com as especificações do fabricante.

Os ensaios foram feitos em panelinhas de alumínio para voláteis com massa entre 5,5 e 6,5 mg, taxas de $20^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ para os aquecimentos e $50^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ para o resfriamento, na faixa de -20°C até 330°C em atmosfera inerte de nitrogênio com fluxo gasoso de $20\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e visavam determinar o percentual de cura e a temperatura de transição vítrea dos compósitos e da resina pura.

3.2.5 Ensaio de TGA

O TGA é uma técnica térmica onde se mede a variação de massa em função do tempo ou da temperatura, com taxa, atmosfera e fluxo gasoso controlado para se obter um programa de temperatura controlado (COSTA, 2018; CARVALHO, 2019).

Os ensaios foram realizados em um equipamento TGA 7 da marca *PerkinElmer* Ltda. que fica localizado nas dependências da UNESP de Guaratinguetá.

As condições de análise foram:

- massa de aproximadamente 10 mg de amostra;
- panelinhas de platina;
- taxa de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$;

- faixa de trabalho de 25°C até 950°C;
- atmosfera de ar sintético;
- fluxo gasoso de 20 mL. min⁻¹.

Este equipamento foi calibrado e ajustado de acordo com a recomendação do fabricante.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Inspeção visual

Os corpos de prova fabricados, quando analisados via inspeção visual, não apresentaram poros, bolhas ou qualquer outro defeito visual significativo.

Além disto, as cores dos corpos de prova variaram de um incolor amarelado (cor da resina pura) até um castanho avermelhado (cor do resíduo de açaí) (Figura 9).



Figura 9: Corpos de provas apenas com resina com 5%, 10% e 20% de biomassa.

Fonte: AUTORAS, (2020).

4.2 Ensaio de DSC

De acordo com a literatura, esperava-se obter de materiais lignocelulósicos, dois efeitos térmicos na corrida de DSC. Sendo o primeiro a transição vítrea da lignina que ocorre em torno de 60°C e o segundo um pico de fusão em aproximadamente 130°C decorrente da fusão parcial de partículas cristalinas da lignina (BANDEIRA, 2015; CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

Entretanto, foi observado apenas um evento térmico em que as temperaturas de *onset*, *endset* e pico são, respectivamente, 58,5°C; 133,5°C e 92,4°C (Figura 10). Este efeito, pode ser, decorrente da presença de água no sistema que mascara as transições da lignina.

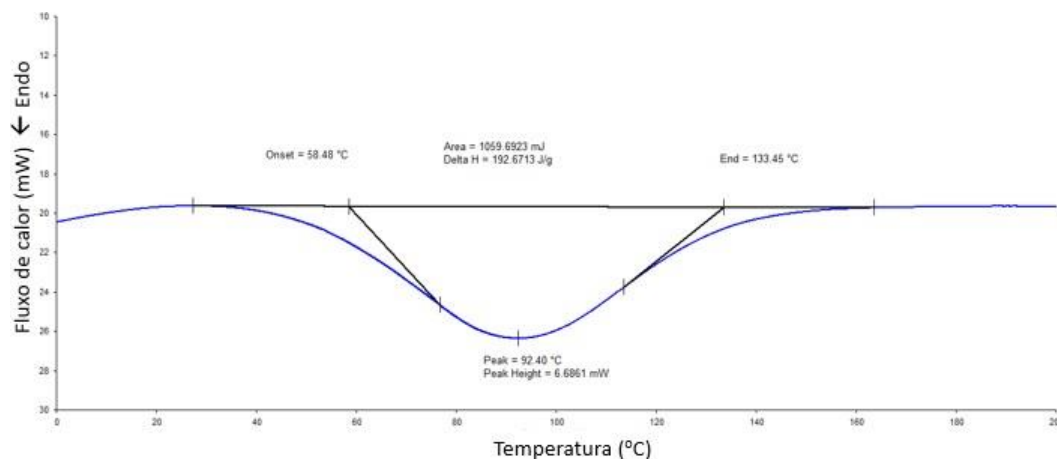


Figura 10: Corrida de DSC da biomassa do açai.

Fonte: AUTORAS, (2020).

Além disto, demonstra que, o tempo de secagem do material não foi suficiente para eliminar a umidade da fibra.

O sistema resina pura/ endurecedor não curados, foi submetida a uma corrida em DSC e apresentou um pico de cura com temperatura de *onset* de 54,0°C, temperatura de *endset* de 142,8°C e temperatura de pico de 104,7°C (Figura 11). Além disto, sua entalpia de cura (ΔH) é de -372,0J. g⁻¹.

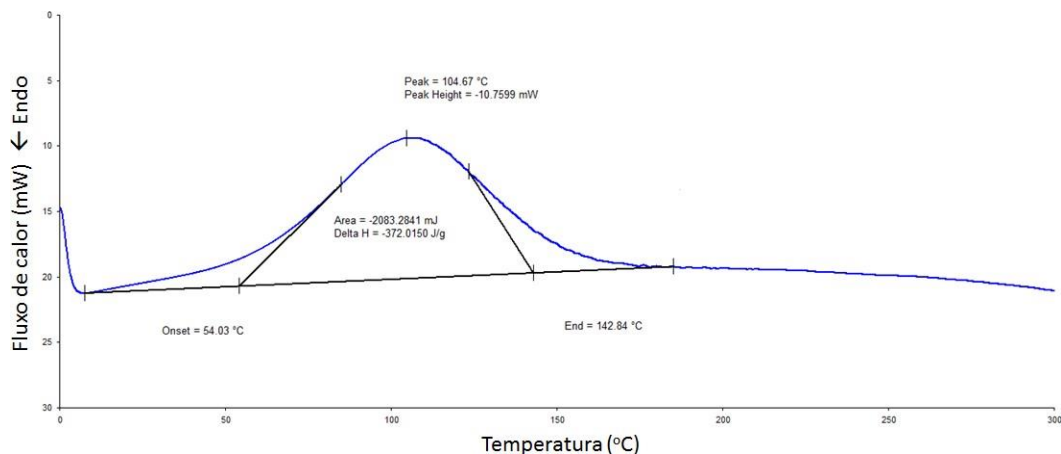


Figura 11: Corrida de DSC da resina mais endurecedor não curados na proporção de 2:1.

Fonte: AUTORAS, (2020).

Os compósitos com 5%, 10% e 20% de açaí e a resina pura após curada (Figura 12), não apresentaram picos no primeiro aquecimento, indicando que a cura do sistema estava completa após 48h a temperatura ambiente.

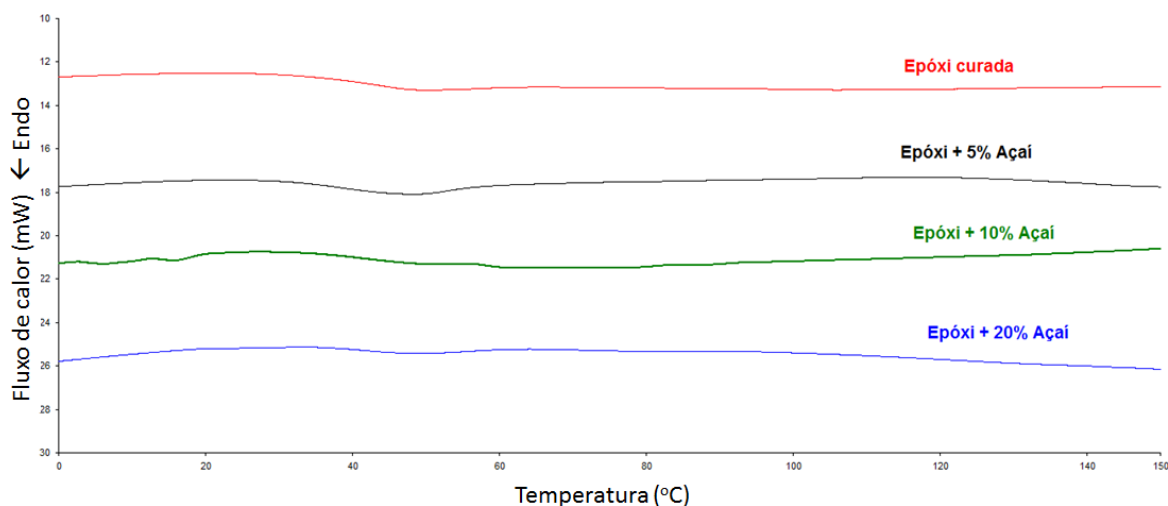


Figura 12: Primeiro aquecimento das curvas de DSC da resina pura e acrescida de 5%, 10% e 20% de biomassa de açaí.

Fonte: AUTORAS, (2020).

Após o segundo aquecimento, as curvas da resina pura e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de açaí, apresentaram respectivamente, apenas a temperatura de transição vítrea que correspondem a 72,9°C; 74,4°C; 86,4°C e 89,4°C (Tabela 1). Estes valores aumentaram com o aumento da quantidade de biomassa presente no compósito quando comparados aos valores da Tg da resina pura (Figura 13). Isto, provavelmente, ocorreu devido à dificuldade da movimentação das cadeias poliméricas em decorrência da presença da biomassa que age como uma barreira (BANDEIRA, 2015).

Tabela 1: Temperaturas de transição vítrea da resina pura e dos compósitos com açaí.

Materiais	Tg (°C)
Resina Epóxi	72,9
Resina Epóxi + 5% de biomassa de açaí	74,4
Resina Epóxi + 10% de biomassa de açaí	86,4
Resina Epóxi + 20% de biomassa de açaí	89,4

Fonte: AUTORAS (2020).

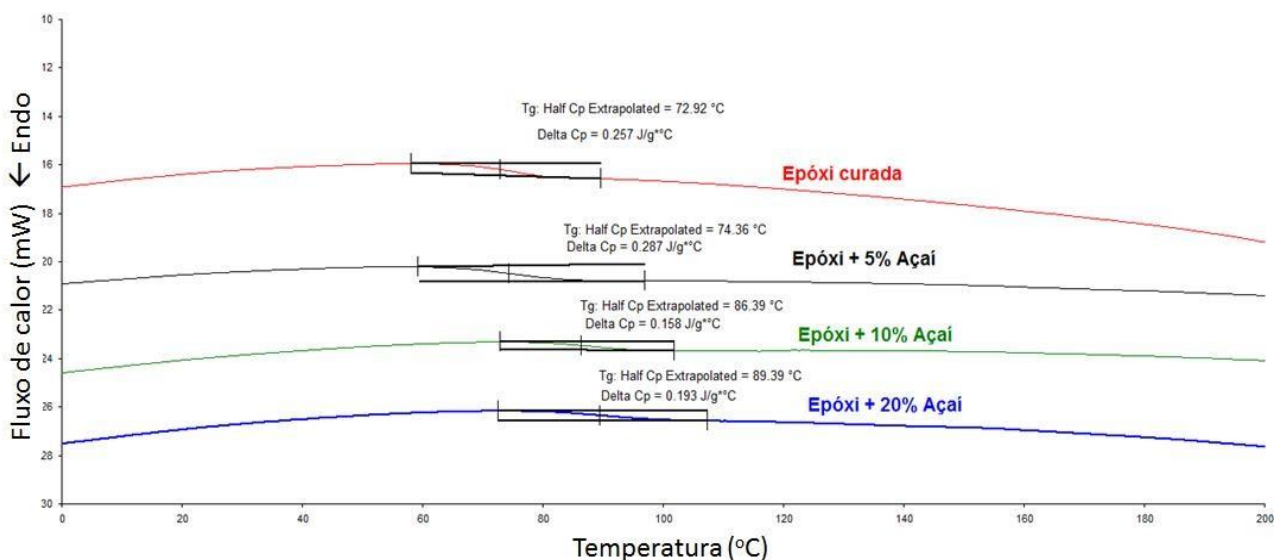


Figura 13: Segundo aquecimento das curvas de DSC da resina pura e acrescida de 5%, 10% e 20% de biomassa de açaí.

Fonte: AUTORAS, (2020).

4.3 Ensaios de TGA

De acordo com os dados da literatura, para o resíduo de açai, a primeira perda, que se inicia em aproximadamente 25°C e vai até uma temperatura em torno de 100°C, é decorrente da perda de voláteis, especialmente umidade (Figura 14).

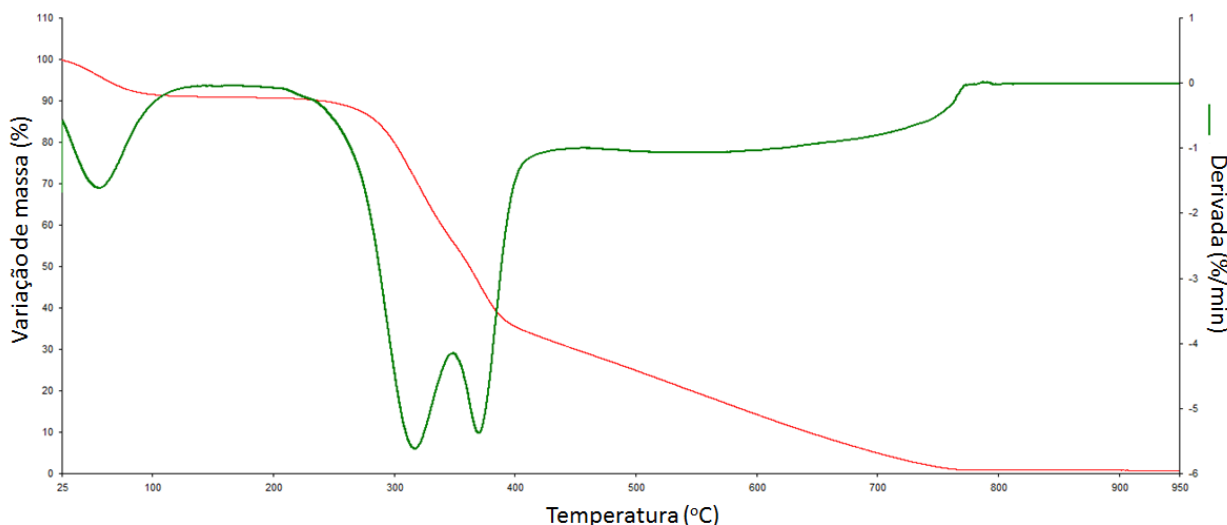


Figura 14: Curva de TGA da biomassa do açai.

Fonte: AUTORAS, (2020).

Esta perda foi de 9,0% e está de acordo com os dados encontrados por Carvalho (2019) que trabalhou com esse mesmo tipo de resíduo e se deve aos componentes mais higroscópicos presentes na biomassa que são as hemiceluloses e as β -celuloses (CARVALHO, 2019).

A perda de massa subsequente, de 35,6%, se refere a queima da hemicelulose e da β -celulose (COSTA, 2018).

A terceira perda de massa se apresenta como um ombro, sendo pouco definida. Ela é decorrente da degradação da celulose (~350°C). Esta sobreposição de eventos, se deve a temperatura de degradação deste material que é um pouco acima da dos materiais hemicelulose e β -celulose (COSTA, 2018).

Após o final da última perda ocorre a perda da lignina que se apresenta como uma variação da linha de base (COSTA, 2018).

No caso da resina pura (Figura 15) e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de biomassa, as temperaturas de *onset* e *endset* são, respectivamente, 358,2°C e 448,0°C; 350,0°C e 449,7°C; 342,9°C e 461,9°C e 330,1°C e 471,7°C (Tabela 2) e indicam que a medida que o teor de biomassa aumenta, a temperatura de *onset* diminui, mas a de *endset* cresce, mostrando que a material queima mais lentamente (Figura 16) (CARVALHO, 2019; COSTA, 2018).

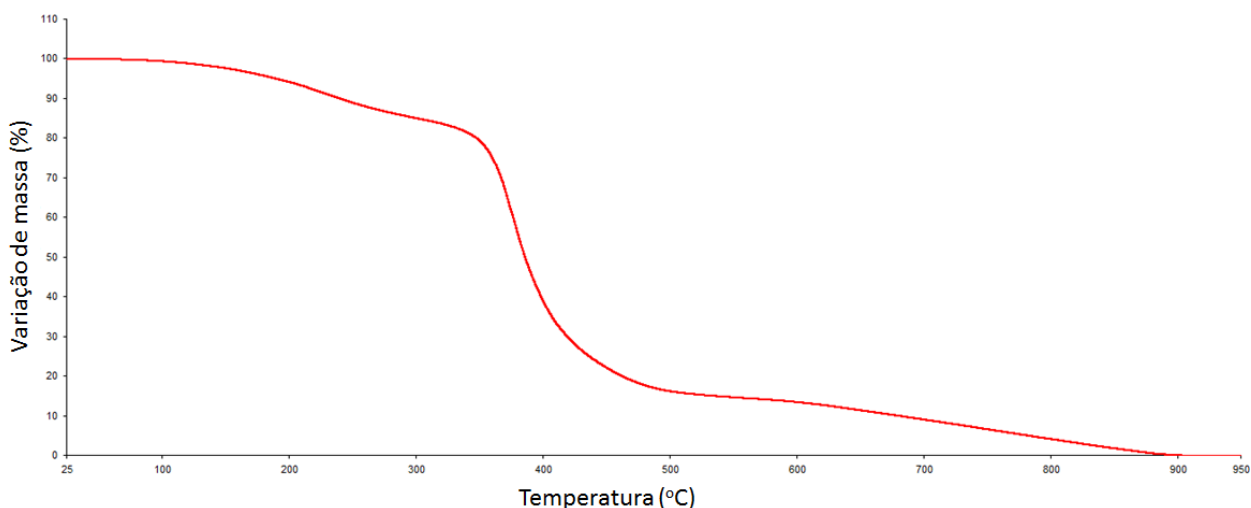


Figura 15: Curva de TGA da resina pura curada.

Fonte: AUTORAS, (2020).

Tabela 2: Temperaturas de *onset* e *endset* do ensaio de TGA da resina pura e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de biomassa de açaí.

Materiais	Onset (°C)	Endset (°C)
Resina Epóxi	358,2	448,0
Resina Epóxi + 5% de biomassa de açaí	350,0	449,7
Resina Epóxi + 10% de biomassa de açaí	342,9	461,9
Resina Epóxi + 20% de biomassa de açaí	330,1	471,7

Fonte: AUTORAS (2020).

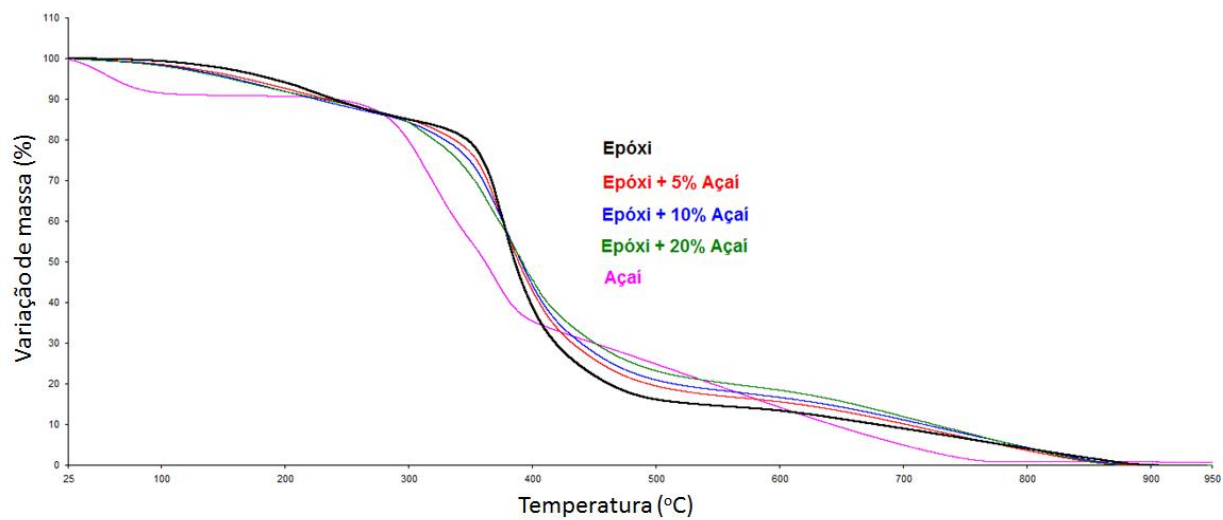


Figura 16: Curva de TGA da resina pura e dos compósitos com 5%, 10% e 20% de biomassa do açai.

Fonte: AUTORAS, (2020).

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- Que é possível utilizar a biomassa de açaí para manufatura de compósitos com 5%, 10% e 20% v/v de biomassa com resina epóxi;
- O material apresenta bom tempo de gel, possibilitando o seu manuseio e consequentemente a manufatura de peças mais elaboradas;
- O tempo de cura total é relativamente rápido, o que permite a fabricação de peças em série e rapidamente;
- A resina forma poucas bolhas e é fácil de manusear, diminuindo a perda por materiais defeituosos;
- O maior teor de biomassa usado (20%), diminui o custo do processo e, consequentemente, o do produto final;
- Não há necessidade da utilização de fornos ou equipamentos especiais, diminuindo o preço para instalação de ateliers;
- A inserção desta biomassa neste tipo de compósito, possibilita a redução do descarte em aterros e dos consequentes problemas ambientais decorrentes;
- O seu uso pode vir a gerar renda para a população desta região;
- A temperatura de transição vítrea aumenta com o aumento da biomassa;
- Os compósitos apresentam temperatura máxima de aplicabilidade de 207°C;
- O fato do material queimar mais lentamente é um indicativo de que ele pode atuar como um retardante de chama e, consequentemente, será um bom aditivo para móveis e pisos.

6. TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se, para dar continuidade a este trabalho:

- Manufaturar compósitos com teores maiores de biomassa;
- Fazer ensaios de resistência, atração e flexão para determinar aplicabilidade deste compósito;
- Fazer ensaios que comprovem que o material pode atuar como retardante de chama;
- Fazer ensaios com outros tipos de biomassa e determinar quais apresentam melhores características.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BANDEIRA, C. F. **Aplicação de frequências não convencionais na obtenção de curvas de DMA de compósitos poliméricos**. 2011. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

BANDEIRA, C. F. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono**. 2015. 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

BAUER, R. S. Application of epoxy resins in advanced composites. In: INTERNATIONAL SAMPLE SYMPOSIUM AND EXHIBITION, 34., 1989, Reno. **Proceedings...**Covina: SAMPE, 1989. p. 1889-1900

BARNEY, R. H. et al. Silsesquioxanes. **Chemical Reviews**, Washington, v.95, n. 5, p.1409-1995, July 1995.

BAST, E. O Brasil tem quase 3 mil lixões em 1600 cidades, diz relatório. **G1**. 14/09/2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/natureza/noticia/2018/09/14/brasil-tem-quase-3-mil-lixoes-em-1600-cidades-diz-relatorio.ghtml> Acessado em: Jun/2020.

BENINI, K. C. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas:HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, 2011.

BRAGA, R.A. **Análise da utilização de fibras naturais aglutinadas com resina Epóxi, para fabricação de uma cobertura central do porta-malas de um automóvel de passageiros**. 2010. 188 f. Teses (Pós graduação em Engenharia Mecânica) -

Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <https://referenciabibliografica.net/a/pt-br/ref/abnt>. Acesso em: 6 mar. 2020.

BRANDÃO, A. T. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras do bagaço de cana-de-açúcar**. 2015. 55f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2015.

CARVALHO, A. C. **Fabricação e caracterização de compósitos à base de resina epóxi e fibras de bananeira**. 2015. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, 2015.

CARVALHO, J. A. L. **Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí: Obtenção e caracterização** 2019. 103f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 21, e2017092, 2018.

COSTA, A. C. A. **Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia**. 2018. 81 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Universidade de Volta Redonda -UniFOA, Volta Redonda, 2018.

COSTA, M. L. **Efeitos do conteúdo de vazios no comportamento mecânico de compósitos avançados carbono/epóxi e carbomo/bismaleimida**. 2002. 201f. Tese (Doutorado em Ciência - Física e Química de Materiais Aeroespaciais) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2002.

COSTA, M. L.; REZENDE, M. C.; PARDINI, L. C. Métodos de estudo da cinética de cura de resinas epóxi. **Polímeros** vol.9 no.2 São Carlos Apr./June 1999.

COSTA, Z. S. **Influência do SiO₂ nas propriedades mecânicas da DGEBA**. 2009. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2009.

DONG, C.; DAVIES I. J. Optimal design for the flexural behaviour of glass and carbon fibre reinforced polymer hybrid composites. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306912000301>> Acesso em: 11 dez. 2017.

FERRARI, V. M. **Estudo da pré-impregnado de resina epoxídica/fibra de carbono por meio das técnicas de DSC e DMTA**. 189 f. Tese de Doutorado em Ciência – Física e Química de Materiais Aeroespaciais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2005.

GEHLEN, L. R. **Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (Açaí e Curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado**. 2014. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

HERNANDES, C. **Caracterização e seleção de sistemas de resina epóxi para a utilização em compósitos de aplicação aeroespacial**. 1995. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Física e Química dos Materiais Aeroespaciais) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São Jose dos Campos, 1995.

LEE, H.; NEVILLE, K. **Handbook of epoxy resin**. New York: McGraw-Hill, 1967.

LEÃO, M. A. **Fibras de licuri: Um reforço alternativo de compósitos poliméricos**. 2008. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

MAY, C. A. **Epoxy resins chemistry and technology**. Watsonville: Marcel Dekker, 1988. 1242p.

MILANESE, A. C. **Processamento e caracterização de compósito fibra de sisal/resina epóxi via RTM**. 2012. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica na área de Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

MONTEIRO, L. H. O.; COSTA, R. O. S.; PINHEIRO, P. F. V. Resíduos produzidos pelos processadores de açaí na região metropolitana de Belém e avaliação do seu potencial energético. **IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade. 2017. Belo Horizonte. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/engineeringproceedings/xvneeeamb/153.pdf> Acessado em: Jun/2020.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 20 (1): 111-124, jun. 2008.

OLIVEIRA, L. F. **Desenvolvimento de compósitos de fibra de carbono/resina benzoxazina para aplicações aeroespaciais**. 2018. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

PADILHA, J. L.; CANTO, S. A. E.; RENDEIRO, G. **Avaliação do potencial dos caroços de açaí para geração de energia**. Universidade Federal do Pará. 2006.

MACHADO, N CORDEIRO; ALMEIDA, M; O. C; HAROLDO, D. R. **Hidrólise enzimática do caroço de açaí para a produção de etanol** (2017).

ROCHA, R. J.; ROCCO, J. A. F. F.; OLIVEIRA, M.A. S.; IHA, K. Revestimentos de alta camada obtidos com a modificação de resinas epóxi novolaca pela reação com organossiloxano e catálise ácida. **Quím. Nova**. vol.40 no.2 São Paulo Feb. 2017.

SANJAY, M.R., Arpitha, G.R., Naik, L.L., Gopalakrishna, K. and Yogesha, B. Applications of Natural Fibers and Its Composites: An Overview. **Natural Resources**, 7, p-108-114. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2016.73011>, 2016.

SILVA, I. L. A. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, 2014.

SILVA, A. S.; SILVA, S. M.; GARCIA, P. G. Confecção de compósitos em matriz de resina epóxi reforçado com fibra de curauá. *Semana Acadêmica – Revista Científica*, Fortaleza, v. 01, ed000148., 2018.

SILVA, T. O. "Impactos ambientais causados pelo agronegócio no Brasil"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/impactos-ambientais-causados-pelo-agronegocio-no-brasil.htm>. Acessado em: jun/2020.

SUAMA, J.; MAIA, C. Caminhos do açaí: Pará produz 95% da produção do Brasil, frutomovimenta US\$ 1,5 bi e São Paulo é o principal destino no país. **G1 PA** - Belém. 15/03/2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2019/03/15/caminhos-do-acai-para-produz-95-da-producao-do-brasil-fruto-movimenta-us-15-bi-e-sao-paulo-e-o-principal-destino-no-pais.ghtml> Acessado em: Jun/2020.

VIDAL, A. C., **Biocomposite for use in insoles: Processing and Characterization**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) – Fundação Oswaldo Aranha do Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.