



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

HELLEN CRISTINA MENDONÇA COELHO

**COMPÓSITO POLIÉSTER COM PARTICULADOS ARGILOSOS:
CARACTERIZAÇÕES MECÂNICAS E FLAMABILIDADE**

Ananindeua, PA

2022

HELLEN CRISTINA MENDONÇA COELHO

**COMPÓSITO POLIÉSTER COM PARTICULADOS ARGILOSOS:
CARACTERIZAÇÕES MECÂNICAS E FLAMABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, campus universitário de Ananindeua, para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Deibson Silva da Costa.

Coorientador: Bel. Luis Felipe Alencar Brandão.

Ananindeua, PA

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

M539c Mendonça Coelho, Hellen Cristina.
COMPÓSITO POLIÉSTER COM PARTICULADOS
ARGILOSOS: CARACTERIZAÇÕES MECÂNICAS E
FLAMABILIDADE / Hellen Cristina Mendonça Coelho. —
2022.
59 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
Coorientador(a): Prof. Luis Felipe Alencar Brandão
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de
Ananindeua, Curso de Engenharia de Materiais,
Ananindeua, 2022.

1. Compósitos. 2. Processamento. 3. Poliéster. 4.
Argila. 5. Propriedades. I. Título.

CDD 620.118

HELLEN CRISTINA MENDONÇA COELHO

**COMPÓSITO POLIÉSTER COM PARTICULADOS ARGILOSOS:
CARACTERIZAÇÕES MECÂNICAS E FLAMABILIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, campus universitário de Ananindeua, para a obtenção do grau de Bacharela em Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará.

Data da aprovação: 01/07/2022

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Deibson Silva da Costa

Prof. Dr. Deibson Silva da Costa
(FEMat/CAMPANIN/UFPA – Orientador)

Luis Felipe Alencar Brandão

Bel. Luis Felipe Alencar Brandão
(PPGEC/ITEC/UFPA – Examinador Externo)

Marco Vinicius da Silva Paula

Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula
(FEMat/CAMPANIN/UFPA – Examinador Interno)

Alessandro José Gomes dos Santos

Prof. Dr. Alessandro José Gomes dos Santos
(FEI/CABAE/UFPA – Examinador Externo)

Ananindeua, PA

2022

Dedico este trabalho a mim, pois em diversos momentos pensei não ser capaz e em desistir, mas minha força de vontade foi maior para superar as adversidades e achei suporte e apoio em mim mesma.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado até aqui e ter me sustentado nos momentos difíceis.

A minha mãe Aline, meu padrasto Alan, meu irmão Aquiles, minha avó Sylvia e meu tio/pai Renan que sempre fizeram o que esteve aos seus alcances para me ver bem e que não me faltasse nada.

Ao Prof. Dr. Deibson Silva da Costa por toda a paciência e ajuda nesse período, desde a primeira disciplina que cursei com ele sabia que seria meu orientador.

Aos meus amigos do FACTH: Felipe, obrigada por não ter desistido de mim e ser um dos meus maiores incentivadores para estar aqui, sem você eu não conseguiria. Amanda, minha dupla nos compósitos e na graduação inteira, obrigada por ter sido meu suporte e por ter me escolhido pra aprender junto com você. Clara, obrigada por ter sido a parte leve de toda essa experiência e por toda a ajuda. Thiago, obrigada por ser esse irmão pra mim durante esses anos e por sempre ter segurado minha mão em todos os momentos.

A toda minha turma de 2015, turma onde sempre me identifiquei e me encontrei.

As minha amigas Gabriela e Layla, por sempre me ouvirem e me darem forças para continuar.

Ao Afonso Maia, sua leveza na reta final foi essencial.

Ao Laboratório de Engenharia Química, em especial ao LAMPS e a USIMat, por me cederem os equipamentos necessários para a concretização desse trabalho.

RESUMO

A ciência está sempre buscando melhorias, relação custo benefício e sem perder a qualidade e resistência do material. Os materiais compósitos constituem um dos mais interessantes grupos de materiais atualmente utilizados, pois apresentam inúmeras vantagens em relação aos materiais convencionais. O reforço é o componente descontínuo do material, e, em geral, apresenta a maior resistência nos compósitos. Nos compósitos reforçados com argila, as propriedades mecânicas podem ser aperfeiçoadas e facilitar a processabilidade do produto manufaturado. O objetivo do trabalho se baseia em fabricar e analisar compósitos poliméricos confeccionados com argila usando uma matriz polimérica, além de caracterizá-los fisicamente, mecanicamente e estudar seu retardo à chama. Foram confeccionados materiais compósitos de matriz poliéster isoftálica, utilizado como material particulado a argila. Foi adotado o método *hand lay up* para a fabricação dos mesmos. Na resina foi adicionado 1,5 % (v/v) de acelerador de cobalto e 1 % (v/v) de iniciador e as proporções de argila foram: 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %. Os corpos de prova foram submetidos aos ensaios físicos de massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água seguindo a norma ASTM D792, ASTM D2734 e ASTM D570, respectivamente. Além dos ensaios de tração e flexão que seguiram as normas ASTM D3039 e ASTM D790, respectivamente. E, por fim, o ensaio de resistência à chama seguindo a norma ASTM D635. Em relação aos ensaios físicos, todas as composições ficaram com médias próximas e todas aumentaram em relação à matriz. Mecanicamente, os resultados se mostraram favoráveis onde a adição de argila afetou de forma positiva sob esforços de tração, onde o melhor resultado se deu com 21,25 MPa com 20 % de argila de Icoaraci e flexão, onde o melhor resultado se deu com 68,53 MPa com 15 % de argila de Icoaraci comparados à matriz plena. Para o ensaio de flamabilidade não houve uma diminuição tão significativa da taxa de queima, com a menor taxa sendo 20,12 mm/min com 15 % de argila de Icoaraci, no entanto os resultados permaneceram inferiores do que o exigido pelas normas ASTM D635 e CONTRAN.

Palavras-chave: Compósitos. Processamento. Poliéster. Argila. Propriedades.

ABSTRACT

Science is always looking for improvements, cost-effectiveness and without losing the quality and strength of the material. Composite materials are one of the most interesting groups of materials currently used, as they have numerous advantages over conventional materials. Reinforcement is the discontinuous component of the material, and, in general, presents the greatest strength in composites. In clay-reinforced composites, the mechanical properties can be improved and facilitate the processability of the manufactured product. The objective of the work is based on manufacturing and analyzing polymeric composites made with clay using a polymeric matrix, in addition to physically and mechanically characterizing them and studying their flame retardancy. Composite materials of isophthalic polyester matrix were made, using clay as particulate material. The hand lay up method was adopted for their manufacture. In the resin was added 1,5 % (v/v) of cobalt accelerator and 1 % (v/v) of initiator and the proportions of clay were: 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % and 25 %. The specimens were submitted to physical tests of apparent specific mass, apparent porosity and water absorption according to ASTM D792, ASTM D2734 and ASTM D570, respectively. In addition to the tensile and bending tests that followed the ASTM D3039 and ASTM D790 standards, respectively. And finally, the flame resistance test following the ASTM D635 standard. Regarding the physical tests, all compositions had similar averages and all increased in relation to the matrix. Mechanically, the results were favorable where the addition of clay affected positively under tensile stresses, where the best result was given with 21,25 MPa with 20 % of Icoaraci clay and bending, where the best result was given with 68,53 MPa with 15 % Icoaraci clay compared to the full matrix. For the flammability test, there was not such a significant decrease in the burning rate, with the lowest rate being 20,12 mm/min with 15 % of Icoaraci clay, however the results remained lower than required by the ASTM D635 and CONTRAN.

Keywords: Composites. Processing. Polyester. Clay. Properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Classificação dos materiais compósitos.....	19
Figura 2 - Reação de cura de poliéster insaturado com MEK e estireno.....	21
Figura 3 – Amostra preparada para a realização do ensaio de tração.....	24
Figura 4 – Esquemática do ensaio de flexão em três pontos.....	26
Figura 5 – Esquemática do ensaio de flamabilidade de acordo com a norma ASTM D 635.....	27
Figura 6 – Resina poliéster isoftálica (a), acelerador de cobalto (b), iniciador MEK-P (c), desmoldante (d).....	28
Figura 7 – Fluxograma do processo de preparação das argilas.....	29
Figura 8 – Aspecto geral da argila após peneiramento.....	29
Figura 9 – Molde metálico inoxidável retangular (a), estufa para esterilização e secagem (b), balança analítica de precisão (c), prensa hidráulica de 10 toneladas (d), serra circular para cortes dos corpos de prova (e).....	30
Figura 10 – Fluxograma do processo de confecção dos compósitos.....	31
Figura 11 – Mistura com somente resina (a), resina + acelerador (b) e resina + argila + acelerador (c).....	32
Figura 12 – Mistura de resina, acelerador, argila e iniciador disposta no molde nivelado.....	33
Figura 13 – Ilustração dos corpos de prova para realização dos ensaios físicos.....	34
Figura 14 – Corpos de prova prontos para realização dos ensaios físicos.....	34
Figura 15 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de tração....	34
Figura 16 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de flexão....	34
Figura 17 – Aparato para medição da massa imersa do material.....	35
Figura 18 – Máquina universal para realização dos ensaios mecânicos (tração e flexão).....	36
Figura 19 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de flamabilidade.....	37
Figura 20 – Comparativo entre a massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente dos compósitos com particulados das argilas.....	40
Figura 21 – Gráfico do desempenho da resistência à tração de materiais compósitos com inserção de argila.....	42

Figura 22 – Gráfico de força x deslocamento para compósitos com argila do Guamá.....	43
Figura 23 – Gráfico de força x deslocamento para compósitos com argila de Icoaraci.....	43
Figura 24 – Gráfico do desempenho da resistência à flexão de materiais compósitos com inserção de argila.....	46
Figura 25 – Gráfico do desempenho da resistência à chama de materiais compósitos com inserção de argila.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definição das composições para as placas de resina + argila.....	32
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados resultantes dos ensaios físicos para composições com argila.....	38
Tabela 2 – Dados adquiridos com o ensaio de tração.....	41
Tabela 3 – Comparativo dos dados de tração obtidos com a literatura.....	44
Tabela 4 – Dados adquiridos com o ensaio de flexão.....	44
Tabela 5 – Comparativo dos dados de flexão obtidos com a literatura.....	47
Tabela 6 – Dados adquiridos com o ensaio de flamabilidade.....	47
Tabela 7 – Comparação entre as normas utilizadas com os resultados obtidos neste trabalho.....	48

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Absorção de água
A_0	Seção transversal da área
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CMC	Compósito de matriz cerâmica
Co	Cobalto
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
E	Módulo de elasticidade
F	Carga instantânea
GPa	Gigapascal
HB	<i>Horizontal Burning</i>
kN	Quilonewton
l_0	Comprimento original antes de uma carga aplicada
l	Comprimento instantâneo
LEQ	Laboratório de Engenharia Química
MEA	Massa específica aparente
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MMC	Compósito de matriz polimérica
MPa	Megapascal
M_s	Massa seca
M_u	Massa úmida
M_i	Massa imersa
NBR	Normas técnicas
PA	Porosidade aparente
PMC	Compósito de matriz polimérica
USIMat	Usina de materiais
μm	Micrômetro
ε	Deformação de engenharia
σ	Tensão de resistência à tração
Δl	Alongamento ou a variação no comprimento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa e motivação	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos	16
1.2.3	Síntese do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Materiais compósitos	18
2.2	Matriz Polimérica	20
2.2.1	Resina poliéster	20
2.3	Reforços em materiais compósitos	21
2.3.1	Argila (particulado)	22
2.4	Fabricações dos compósitos	23
2.5	Ensaio	24
2.5.1	Ensaio mecânicos	24
2.5.1.1	Ensaio de tração	23
2.5.1.2	Ensaio de flexão	25
2.5.2	Flamabilidade	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	Materiais	28
3.1.1	Matriz	28
3.1.2	Material particulado: argilas	29
3.2	Equipamentos utilizados	30
3.3	Métodos	31

3.3.1	Preparação das matérias-primas	31
3.3.2	Confeção das placas de compósitos.....	31
3.3.2.1	Realização dos cortes de prova.....	32
3.3.3	Caracterização dos corpos de prova.....	35
3.3.3.1	Caracterização das propriedades físicas	34
3.3.3.2	Ensaio Mecânicos.....	35
3.3.3.3	Teste de Flamabilidade.....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1	Caracterização física dos compósitos	38
4.2	Ensaio mecânicos	40
4.2.1	Ensaio de tração	40
4.2.2	Ensaio de flexão	44
4.3	Ensaio de flamabilidade	47
5	CONCLUSÃO	50
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	51
	REFERÊNCIAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

A ciência está sempre buscando melhorias, relação custo benefício e nos últimos tempos, também, está se preocupando com o ciclo de vida dos produtos. Isto tudo sem, contudo, perder a qualidade e resistência do material. Os materiais compósitos constituem um dos mais interessantes grupos de materiais atualmente utilizados, pois apresentam inúmeras vantagens em relação aos materiais convencionais, como elevada rigidez, resistência à corrosão, condutividade térmica e estabilidade estrutural (SOUZA, 2019).

Nos compósitos com matriz polimérica, a ligação boa e forte entre a matriz e o reforço permite que a matriz transmita as cargas externas da matriz para o reforço através do carregamento de cisalhamento na interface (ABRAMOVICH, 2017). As matrizes de natureza polimérica dividem-se em duas categorias principais: termoplásticas e termorrígidas. Estes polímeros são frequentemente fornecidos para processamento sob a forma de uma mistura de dois ou três componentes: resina, acelerador e iniciador (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2010; SHACKELFORD, 2008).

As resinas são materiais poliméricos de alta massa molar, cuja estrutura pode ser representada por pequenas unidades repetidas, denominadas *mero* (ASM INTERNATIONAL, 1993). Segundo Ratna (2009) as resinas termorrígidas mais usadas são os poliésteres, poliuretanos, vinil-éster e resinas fenólicas; as quais são usadas principalmente para formar compósitos reforçados com fibras. Neste trabalho será explorada a resina poliéster que, segundo Fagury (2005) possuem grupos de ésteres como elementos fundamentais em suas cadeias moleculares, resultam da reação de condensação de um diol com um diácido e, dependendo do tipo de ácido empregado, o poliéster pode ser saturado ou insaturado.

O reforço é o componente descontínuo do material, e, em regra, apresenta a maior resistência nos compósitos. A característica do reforço que tem maior influência sobre as propriedades de compósitos são: constituição química, tamanho e razão de aspecto (GAMA, 2018). Podem ser considerados reforços desde cargas minerais, muitas vezes incorporadas aos polímeros com o intuito de reduzir custos, até fibras de ultra-alta resistência. As cargas minerais proporcionam aumentos na

rigidez, dureza e, algumas vezes, na resistência e temperatura de distorção térmica (CALLISTER, 2020).

Argilas são rochas finamente divididas, constituídas essencialmente por argilominerais, podendo conter minerais que não são considerados argilominerais (calcita, dolomita, gipsita, quartzo, aluminita, pirita e outros), matéria orgânica e outras impurezas. Devido a sua aplicabilidade como carga, a argila pode melhorar as propriedades mecânicas e facilitar a processabilidade do produto manufaturado (ALMEIDA, 2013; ARAÚJO, 2002; SANTOS, 1989).

O trabalho tem como objetivo de estudo fabricar e analisar compósitos poliméricos com duas fontes de argilas provenientes da região metropolitana de Belém: uma das encostas do Rio Guamá e outra do distrito de Icoaraci, além de caracterizá-los fisicamente, mecanicamente com o ensaio de tração e flexão e retardo à chama.

1.1 Justificativa e motivação

As preocupações com as questões ambientais vêm buscando meios de minimizar os impactos ao meio, assim buscando meios de produção que sejam menos poluentes e que tenha um baixo consumo de energia. Para otimizar os produtos e processos, surgem os materiais compósitos que são projetados para atingir propriedades que os materiais convencionais não oferecem.

Visando a elaboração de materiais que não exijam um alto esforço mecânico, como a cobertura de superfícies na construção civil, a realização desse trabalho propende confeccionar compósitos de matriz polimérica reforçado com argila. Além de se preocupar com os métodos simples de fabricação a fim de amenizar custos financeiros e danos muito significativos ao meio ambiente, visto que a argila é um recurso natural da região.

Uma aspiração do presente trabalho se dá pelos materiais compósitos serem utilizados em uma ampla variedade de aplicações, mais especificamente os materiais compósitos poliméricos que foram desenvolvidos para melhorar as propriedades mecânicas, como tração e flexão, e térmicos dos polímeros quando comparadas com outros materiais. Tendo em vista também que matrizes poliméricas possuem facilidade de processamento, produção e baixo custo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Fabricar compósitos com as argilas da região metropolitana de Belém (RMB) para determinar suas propriedades físicas, mecânicas e de flamabilidade.

1.2.2 Objetivos específicos

- Viabilidade da fabricação dos compósitos;
- Fabricar compósitos de matriz polimérica com argilas nas proporções em massa pré-determinadas de 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % e 25 %;
- Realizar análises físicas de massa específica aparente (MEA), porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA) nos compósitos fabricados;
- Avaliar a influência das argilas e suas proporções em massa no comportamento mecânico (tração e flexão) dos compósitos;
- Avaliar a flamabilidade (resistência à chama) dos compósitos de matriz polimérica em relação aos tipos de argila e suas proporções em massa.

1.2.3 Síntese do trabalho

Na seção 1 foi abordada a introdução ao tema de compósitos, as justificativas e motivações que levaram a fabricação dos compósitos. Para traçar os objetivos gerais e específicos deste trabalho, foram mostrados os materiais utilizados e suas proporções, além de expor os ensaios e métodos propostos.

Na seção 2 contém o embasamento teórico através das literaturas disponíveis sobre os materiais compósitos, dando ênfase em matriz polimérica, resina, material particulado, fabricação manual e os ensaios envolvidos.

Na seção 3 é apresentada a metodologia aplicada à pesquisa, trazendo os materiais e métodos utilizados para a elaboração dos corpos de prova. Além de trazer fluxogramas, quadros e tabelas a fim de detalhar o processo.

Na seção 4 são expostas as discussões feitas através dos resultados obtidos com a confecção e ensaios dos materiais, trazendo representações gráficas para melhor representação.

Na seção 5 é feita uma síntese do que foi realizado e observado para a conclusão do trabalho, alinha com os objetivos iniciais propostos com os resultados obtidos. E através destes resultados, mostra as propostas para os trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais compósitos

O desenvolvimento e a difusão das técnicas de fabricação de materiais compósitos, aliados à sua versatilidade, vêm promovendo a utilização desses materiais por empresas de diversos segmentos. O crescimento do setor de compósitos avançados começou com os avanços de materiais da Segunda Guerra Mundial e acelerou rapidamente com a corrida espacial dos anos 1960 e com o subsequente crescimento na demanda por produtos de aviação comercial e de lazer de alto desempenho (SHACKELFORD, 2008; SILVA, 2010).

A norma ASTM D 3878 (2020) define materiais compósitos como a combinação de dois ou mais materiais, na qual tal combinação possui propriedades que não podem ser encontradas em seus constituintes isoladamente.

Levy Neto e Pardini (2016) definiram que a característica básica dos compósitos é combinar, a nível macroscópico, pelo menos, duas fases distintas denominadas matriz e reforço (fase dispersa). As propriedades de um compósito são decorrentes de fatores como a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e também da compatibilidade interfacial entre os constituintes da mistura (SILVA, 2014).

As fases denominadas matriz e dispersa apresentam naturezas químicas diferentes, conseqüentemente, exibem comportamentos e propriedades diferentes. O equilíbrio ou desequilíbrio das propriedades do material compósito obtido surge inerentemente da combinação entre as fases, daí a importância de se dosar e selecionar corretamente os constituintes (ASKELAND, 2014).

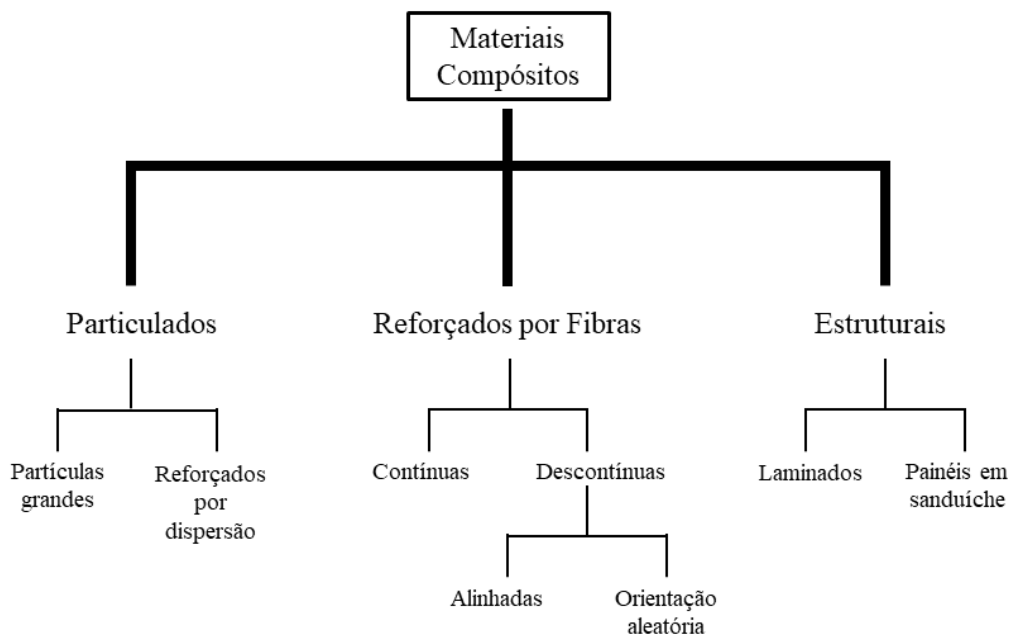
Em uma única aplicação, estes materiais englobam várias características que os fazem um material de excepcional qualidade, tais como: resistência à tração, flexão e ao impacto; leveza; alta rigidez dielétrica podendo ser empregado como isolante; permite moldar peças de alta complexidade; mantém suas formas e dimensões inalteradas sob diversas condições de uso devido a combinação de baixo coeficiente de dilatação térmica e baixa absorção de água; e resistência à corrosão (PETERHANS, 2013).

O processamento inteligível e a baixa densidade dos polímeros fazem com que os compósitos de matriz polimérica sejam importantes em termos de

desempenho e de campo de aplicações (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2010). Esses materiais podem ser adaptados para fornecer alta resistência acoplada com peso relativamente baixo e resistência à corrosão para uma gama ampla de produtos químicos e oferecem durabilidade a longo prazo nas condições mais severas em termos ambientais. Além de possuírem uma economia entre 20 e 40 % de peso e assim tendo potencial para ciclos rápidos de processo, capacidade de atender a rígida estabilidade dimensional, menores propriedades de expansão térmica e excelente resistência à fadiga e à fratura. Na aplicação de um material compósito polimérico, por exemplo, uma economia de peso de 30 % foi alcançada em aviões militares (FAN; NJUGUNA, 2016).

Callister Jr. e Rethwisch (2020) apontaram que os materiais compósitos se dividiam em três tipos principais: os compósitos reforçados com partículas, os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais, como vistos na Figura 1:

Figura 1 – Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: Adaptado de Callister Jr. e Rethwisch (2020).

2.2 Matriz Polimérica

A matriz é o constituinte contínuo de um compósito e frequentemente está presente em maior quantidade nos componentes. Normalmente, as propriedades das matrizes que são aprimoradas ao incorporar outro constituinte para produzir um compósito. A matriz é o material de incorporação e a quantidade de reforço que pode ser incorporada são limitados e no caso dos polímeros com fibras pode-se incorporar alta proporção de fibra, cerca de 70 % em volume. E o fato de o reforço estar ligado à matriz significa que quaisquer cargas aplicadas a um compósito sejam transportadas por ambos os constituintes. Como na maioria dos casos, o reforço é o constituinte mais rígido e mais forte, é o suporte principal. Diz-se que a matriz transferiu a carga para o reforço (MATTHEWS, 2000).

Com base na natureza das matrizes, os compósitos podem ser classificados em quatro categorias principais: composto de matriz polimérica (PMC), compósito de matriz metálica (MMC), compósito de matriz cerâmica (CMC) e compósito com matriz de carbono ou compostos de carbono-carbono. O PMC pode ser processado a uma temperatura muito mais baixa comparado com MMC e CMC (RATNA, 2009).

A matriz polimérica é a mais comum para compósitos, pois o seu processamento não precisa envolver altas pressões e não exige altas temperaturas, além de haver um benefício considerável a ser ganho quando reforçada. Entre os tipos de polímeros existentes, destaca-se a resina poliéster, que possui baixo custo, facilidade de processamento e bom compromisso entre as propriedades mecânicas, elétricas e químicas. E, mais especificamente, a resina poliéster isoftálica que se distingue por possuir boa resistência térmica e são aplicadas em meios levemente agressivos, úmidos ou sujeitas a condições ambientais desfavoráveis (MATTHEWS, 2000; MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2010).

2.2.1 Resina poliéster

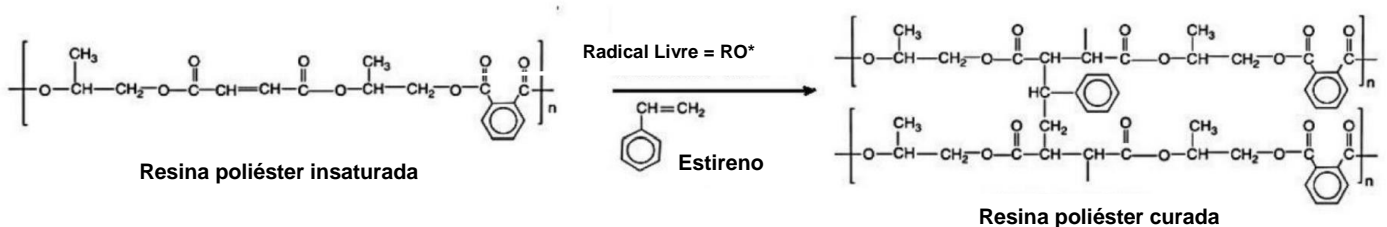
As resinas poliméricas têm se destacado na utilização como matriz em compósitos, podem ser formadas por moléculas (curtas ou longas), compostas por uma rede de entidades estruturais simples denominadas meros. Essas cadeias moleculares podem combinar-se entre si, com outras moléculas semelhantes, ou outros compostos (MILANI, 2015).

As principais resinas poliéster podem ser classificadas também de acordo com sua estrutura, sendo essas isoftálica, tereftálica e ortoftálica. As resinas poliésteres isoftálicas são obtidas de poliésteres de alta massa molecular, esta apresenta uma estrutura com maior resistência mecânica que absorve melhor os impactos. São resinas recomendadas para utilização em peças que estarão em contato com ambientes agressivos (MOREIRA, 2008). Além de essas resinas serem fáceis de usar como uma matriz para materiais compósitos (ELLOUZE *et al.*, 2020).

. A cura da resina pode ser realizada mediante a formação de um polímero termofixo reticulado, ocorrendo através de um processo de poliadição através do rompimento de duplas ligações e formação de interligações, no qual se utilizam iniciadores e aceleradores, dentre os quais o peróxido de metil etil cetona (MEKP) e octoato de cobalto, respectivamente (MORAES, 2019).

A quantidade de iniciador e acelerador controla a taxa de velocidade da reação, influenciando diretamente no tempo de gel e cura total do material (COSTA, 2016). A Figura 2 exibe a estrutura e o mecanismo do processo de cura da resina poliéster.

Figura 2 - Reação de cura de poliéster insaturado com MEK e estireno.



Fonte: NABINEJAD, 2017.

2.3 Reforços em materiais compósitos

Os reforços são adicionados para controlar a maioria das propriedades físicas e mecânicas do compósito. As principais funções em um compósito são: carregar a carga; fornecer rigidez, resistência, estabilidade térmica e outras propriedades estruturais nos compósitos; fornecer condutividade ou isolamento elétrico. Além de aumentar o módulo de elasticidade e reduzir o coeficiente de expansão térmica. A seleção do reforço leva sempre em conta aspectos que variam desde o custo

desses materiais até o desempenho pretendido e a técnica de fabricação empregada (MARINUCCI, 2011).

A transferência de tensões entre o polímero e a carga ocorre através da região de contato, denominada interface. Assim, a interface assume papel decisivo nas propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade e resistência mecânica. Esta aderência está relacionada com as propriedades químicas das cargas, bem como com as conformações moleculares e constituição química da matriz. O tamanho da partícula também é importante, pois define a área de contato com a matriz. Em geral, a resistência aumenta com a diminuição do tamanho da partícula (SANTOS, 2007).

2.3.1 Argila (particulado)

As argilas são definidas como material de textura terrosa de granulação fina, apresentando uma variação na plasticidade com água, de ocorrência natural. Os mineralogistas, designam as argilas como um mineral ou mistura de minerais que apresenta uma granulometria inferior a 2 μm . Este grupo de minerais recebe o nome de argilomineral (AUEBACH et al., 2004). Os argilominerais são materiais naturais com características peculiares (alta energia superficial, elevada área superficial, alto fator de forma, capacidade de troca catiônica, etc.) que os torna particularmente atrativos para aplicações como cargas em borrachas e plásticos (COELHO, 2007).

Quando bem relacionada com a matriz polimérica, as propriedades que confere aos materiais são maiores capacidades de inchamento, de adsorção, propriedades reológicas e coloidais, plasticidade, proteção antichama, melhores propriedades térmicas dentre outras (PAIVA, 2008).

As argilas são formadas basicamente por argilominerais de composição variável; sílica livre, que na maioria das vezes é o quartzo cristalino, com tamanho de partícula superior a 10 μm ; carbonatos, com tamanho de partícula bem fina; feldspato, representado pelos alcalinos e alcalinos-terrosos; micas não hidratadas, como a muscovita e biotita; compostos de ferro e titânio; sais solúveis; matéria orgânica e resíduos carbonáticos (ABREU, 2013).

Já foi demonstrado que um teor de argila de 2 a 10 % em compósitos apresentam melhorias significativas como: resistência à tração; permeabilidade;

resistência a solventes, melhores propriedades ópticas, juntamente com um aumento no módulo de flexão. Esse teor baixo de argila nos compósitos implica em contribuir para produzir componentes mais leves, fator que é importante para a execução de em transportes onde a eficácia do combustível é importante, além de também ser relevante para aplicações onde são admitidas pequenas perdas nas propriedades das matrizes, como a ductilidade e resistência ao impacto (FORNES, 2003; KUGEL, 2000).

Os reforços particulados têm dimensões aproximadamente iguais em todas as direções. A forma das partículas de reforço pode ser esferográfica cúbica, plaquetária ou qualquer geometria regular ou irregular. O arranjo do reforço de partículas pode ser aleatório ou com uma orientação preferida e essa característica também é usada como parte da classificação do esquema. Na maioria dos compósitos reforçados com partículas, a orientação das partículas é considerada, para fins práticos, como aleatória (MATTHEWS, 2000).

2.4 Fabricações dos compósitos

Em relação ao processamento de materiais compósitos, uma variedade de técnicas é empregada dependendo da composição, propriedades e da forma desejada. Dentre elas estão processos de moldagem manual, aspersão, moldagem à vácuo, compressão, pultrusão, transferência, injeção, centrifugação, dentre outros (NAGAVALLY, 2016).

Dentre os processos manuais com molde aberto, dois se destacam pela sua utilização: o *hand lay-up* e o *spray-up molding*. O método usado neste trabalho para a fabricação dos compósitos foi o método de laminação manual (*hand lay up*), que é o método de moldagem mais simples e antigo. Geralmente se divide em: preparação do molde, revestimento em gel, disposição e cura. Isso pode produzir recursos complexos de alta qualidade, custos iniciais relativamente baixos e é altamente adaptável a novas alterações de peças e design. Embora esse método seja confiável, ele exige muito trabalho e o procedimento requer mais tempo que os métodos avançados de fabricação, portanto ele é usado apenas para uma produção em série baixa, além de a qualidade depender da habilidade de quem está operando. O processo de fabricação *hand lay up* é usado principalmente em

estruturas marítimas e aeroespaciais (MOHAMMAD, 2018; FANGUEIRO, 2011; ELKINGTON *et. al.*, 2015).

2.5 Ensaios

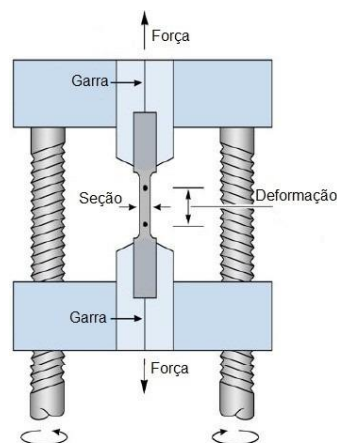
2.5.1 Ensaios mecânicos

2.5.1.1 Ensaio de tração

O teste de tração é utilizado para avaliar o desempenho de um material ou identificar o material para uma aplicação específica e pode ser empregado para caracterizar várias propriedades mecânicas dos materiais que são importantes para projetos, ele indica a capacidade de um material suportar as forças de tração e é usado para determinar a extensão do alongamento antes do intervalo. Os resultados obtidos são influenciados por diversas variáveis como: temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho de grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais. Uma amostra é deformada, geralmente até sua fratura, por uma carga de tração que é aumentada gradativamente e é aplicada uniaxialmente ao longo do eixo de um corpo de provas (GARCIA e SANTOS, 2012; CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2020; RATNA, 2009).

Na Figura 3 mostra como uma amostra deve estar fixada em duas garras corretamente para evitar resultados errôneos devido ao escorregamento ou quebra na hora de prender o corpo de prova.

Figura 3 – Amostra preparada para a realização do ensaio de tração.



Fonte: Biopdi (2022).

A determinação da relação entre a tensão e deformação é a propriedade mais importante que o ensaio de tração irá informar sobre o material. A resistência à tração é dada dividindo a força F (carga instantânea aplicada) pela seção transversal da área A_0 e a tensão σ é calculada a partir da razão entre o alongamento e o comprimento do medidor, como mostra a Equação 1 (RATNA, 2009; CALLISTER JR. e RETHWISCH, 2020):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

E a deformação se dá através da Equação 2:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

Onde l_0 é o comprimento original antes de uma carga aplicada, l é o comprimento instantâneo. Algumas vezes a grandeza $l - l_0$ é simbolizada por Δl que é o alongamento ou a variação no comprimento em um dado instante, em referência ao comprimento original.

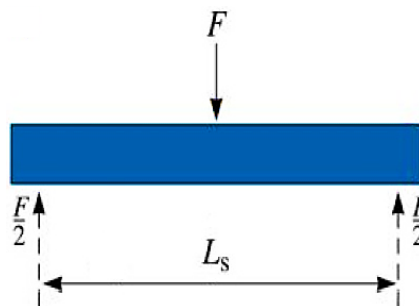
2.5.1.2 Ensaio de flexão

Os ensaios de flexão são muito utilizados, dada a simplicidade dos procedimentos e dos equipamentos necessários, além de serem muito úteis para controle de qualidade sem os custos de preparação e instrumentação dos ensaios de tração, pois o teste de flexão permite fácil preparação da amostra e não envolve a fixação da amostra (RATNA, 2009; BRANQUINHO, 2017). Esse ensaio é mais utilizado em materiais frágeis, dado permitir determinar a tensão de flecha da ruptura, além de permitir avaliar outras propriedades mecânicas como o módulo de elasticidade à flexão (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2010).

Há dois tipos fundamentais de ensaios de flexão, que se designam por flexão em 3 pontos, representado na Figura 4, e flexão em 4 pontos, a diferença é no uso de um apoio adicional que aumenta a flecha para a tensão máxima no material e essa característica é importante pois o aparecimento dos defeitos expostos a essa

tensão máxima está relacionado diretamente com a resistência à flexão e iniciação da falha (MOURA; MORAIS; MAGALHÃES, 2010). O ensaio em 3 pontos consiste em colocar uma amostra retangular entre dois suportes e a carga é aplicada entre os suportes e, em geral, três parâmetros de teste são relatados a partir de um teste de flexão: resistência à flexão; tensão flexural e modulo de flexão. A área sob as curvas tensão x deformação reflete a tenacidade de um material (RATNA, 2009; BRANQUINHO, 2017).

Figura 4 – Esquematização do ensaio de flexão em três pontos.



Fonte: Biopdi (2022).

2.5.2 Flamabilidade

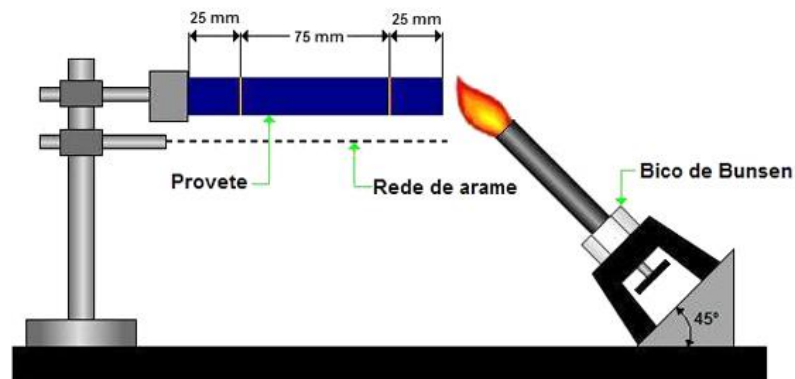
Com o crescente aumento na demanda de materiais antichama e de aditivos com propriedades de retardância de chama para materiais poliméricos, vários setores industriais tem se fortalecido, tais como o têxtil, eletroeletrônico e automotivo (GALIP; HASINPOGL; GUNDUZ, 2001). Um retardante de chama ideal seria aquele que ao ser incorporado no polímero não afetasse suas propriedades originais, tais como, as propriedades óticas, mecânicas ou elétricas mantendo as características como antichama (MARCELINO *et al.*, 2004).

A matriz polimérica tem baixa resistência ao fogo e isso ocorre porque durante o aquecimento há liberação de pequenas moléculas que atuam como combustíveis em presença do fogo, produzindo fumaças densas e pretas durante a queima (VELASCO *et. al.*, 2002). Os fatores que afetam a flamabilidade dos compósitos incluem resina, espessura do compósito, superfície da propagação de chamas e quantidade de aditivos e reforços. Assim, eles são modificados adequadamente para reduzir a flamabilidade, no caso das resinas poliésteres a

adição de fibra de vidro ajuda (TANAKA e LIU, 2003; RATNA, 2009; CHAWLA, 2012).

A norma utilizada neste trabalho é a ASTM D 635, que significa que a queima ocorrerá na horizontal, como mostra a Figura 5, e é aplicado para materiais que continuam a queimar e propagar a chama, mesmo após a retirada da chama inicial. Seu objetivo é classificar o material polimérico através da velocidade de queima do material, onde a chama irá ser produzida do bico de Bunsen a 45° e o tempo de queima é contabilizado em milímetros por minuto (RIBEIRO, 2011).

Figura 5 - Esquemática do ensaio de flamabilidade de acordo com a norma ASTM D 635.



Fonte: Ciência e Tecnologia da Borracha (2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para as confecções dos corpos de prova foram utilizados estes materiais que serão explanados nesta seção.

3.1.1 Matriz

A matriz deste trabalho foi a polimérica, na qual se dá pela resina poliéster isoftálica proveniente da empresa Centerglass (Figura 6a) que é uma resina de coloração amarelada e não acelerada, por consequência, precisa de acelerador e iniciador para que entre em processo de cura, além de ser resistente mecanicamente e quimicamente. O acelerador usado foi o de cobalto, que tem como função acelerar a cura da resina, com a proporção de 1,5 % em v/v proveniente da empresa Aerojet Fiberglass (Figura 6b). Disposto da empresa Aerojet brasileira de fiberglass LTDA, utilizou-se o iniciador comercial Butanox, conhecido como peróxido de metil etil cetona (MEK-P) com a proporção de 1 % em v/v (Figura 6c). O desmoldante, que tem como função criar uma película no molde para remover a peça acabada, foi o Desmojet líquido vindo da empresa Aerojet (Figura 6d).

Figura 6 – Resina poliéster isoftálica (a), acelerador de cobalto (b), iniciador MEK-P (c), desmoldante (d).



(a)



(b)



(c)



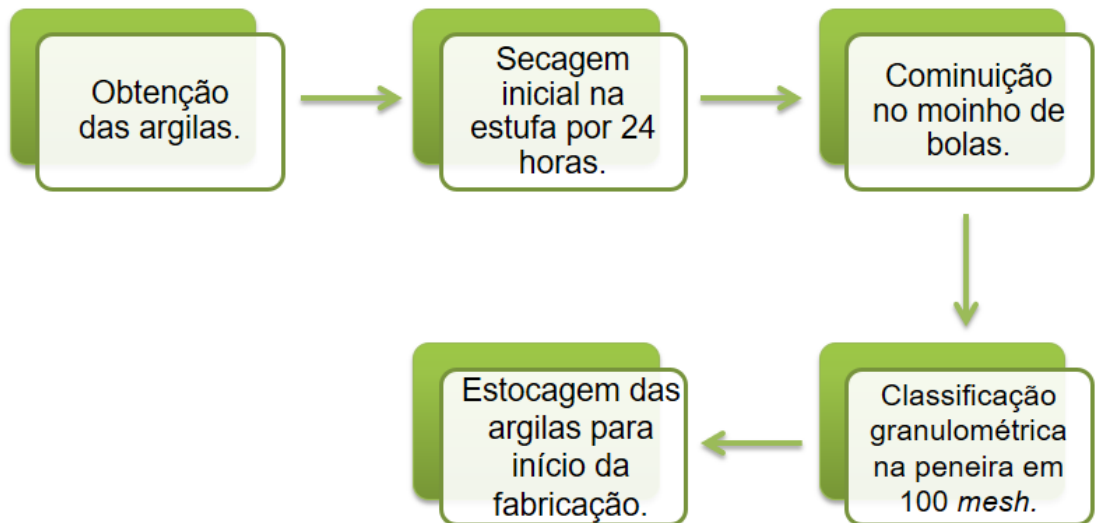
(d)

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.1.2 Material particulado: argilas

Como material particulado, foi utilizada a argila procedente do distrito de Icoaraci e das encostas do Rio Guamá do Campus da Universidade Federal do Pará, onde os dois tipos de argila são da região metropolitana de Belém e ambas foram submetidas ao mesmo processamento, como mostra a Figura 7, e tratadas separadamente.

Figura 7 – Fluxograma do processo de preparação das argilas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Na Figura 8, se encontra o aspecto das argilas após o processo exposto acima.

Figura 8 – Aspecto geral da argila após peneiramento.



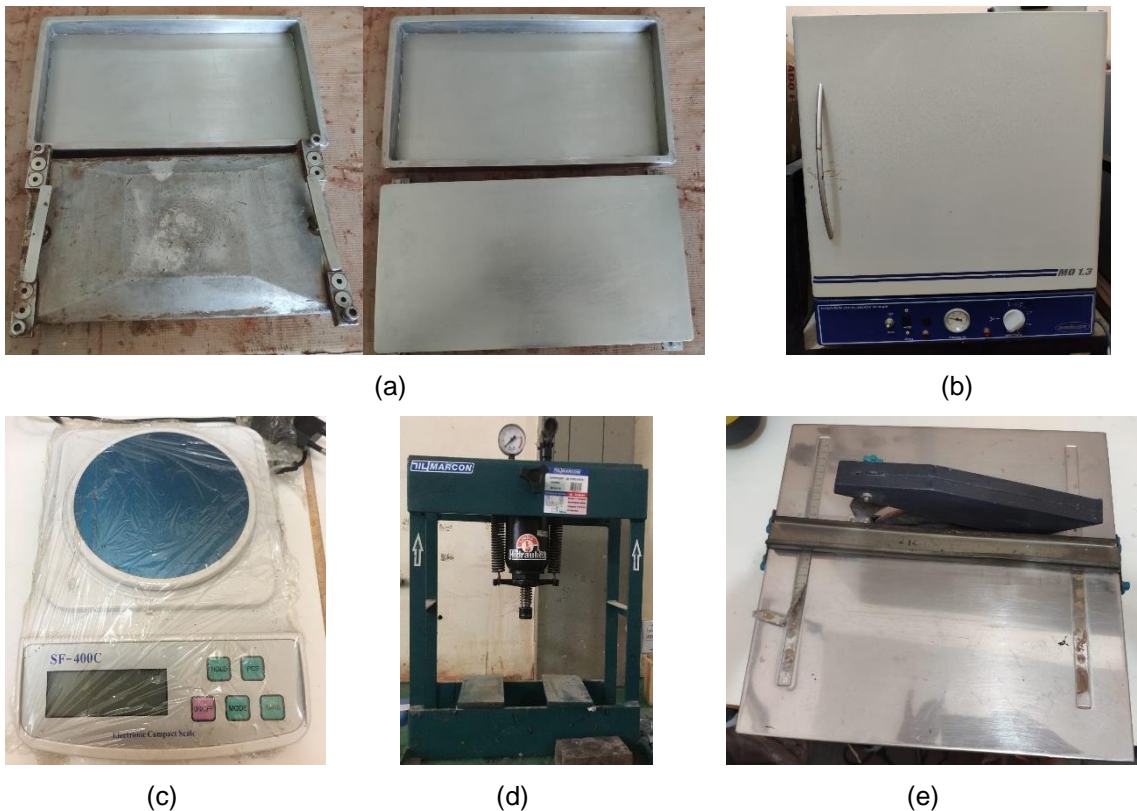
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.2 Equipamentos utilizados

No Laboratório de Engenharia Química (LEQ) da Usina de Materiais (USIMat) localizada na Universidade Federal do Pará (UFPA) foram utilizados os equipamentos necessários para este trabalho, que são:

- Molde metálico inoxidável com medidas de 32 cm x 17,2 cm de forma retangular (Figura 9a);
- Estufa da marca Medicate, sendo mantida em 105°C (Figura 9b);
- Balança analítica SF-400C (Figura 9c);
- Prensa hidráulica da marca Marcon que possui uma capacidade de 10 toneladas e de modelo MPH-10 (Figura 9d);
- Para o corte dos corpos de prova, uma serra circular de bancada (Figura 9e);

Figura 9 – Molde metálico inoxidável retangular (a), estufa para esterilização e secagem (b), balança analítica de precisão (c), prensa hidráulica de 10 toneladas (d), serra circular para cortes dos corpos de prova (e).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.3 Métodos

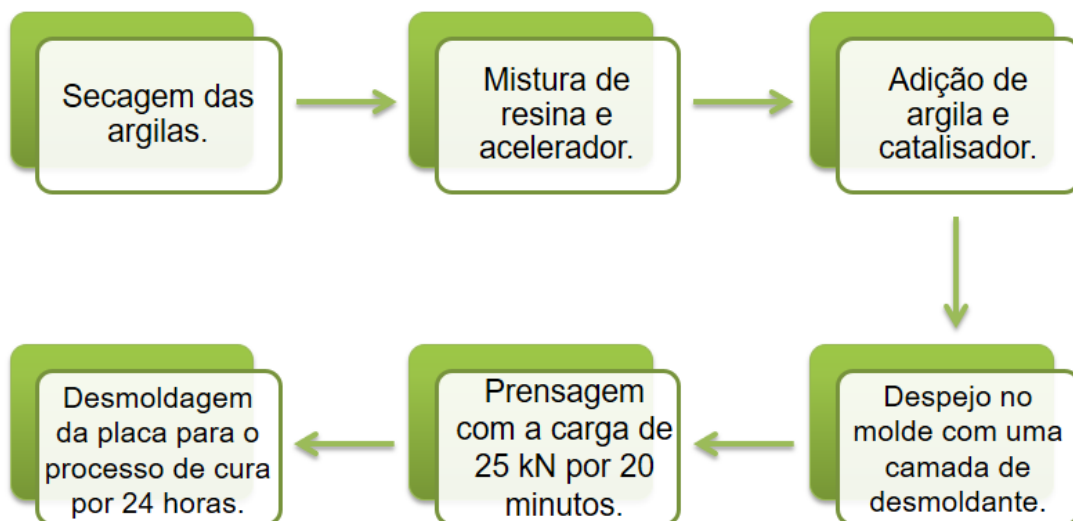
3.3.1 Preparação das matérias-primas

Para iniciar o preparo das matérias-primas, a argila permaneceu na estufa por 24 horas a 105°C com o propósito de realizar o processo de secagem, em seguida passou pelo moinho de bolas a fim de ser desagregada. Para alcançar uma granulometria desejada, utilizou-se uma peneira de 100 *mesh* (0,149 mm), equivalente a 149 microns (μm). Para a confecção dos compósitos, as proporções de particulado passante foram: 0 %, 5 %, 10 %, 15 %, 20 % para as argilas do Guamá e de Icoaraci, sendo esta última também alcançando a composição de 25 % em relação à massa total do compósito.

3.3.2 Confecção das placas de compósitos

A partir do método *hand lay up*, as placas foram obtidas onde o processo pode ser mais bem visualizado no fluxograma da Figura 10:

Figura 10 – Fluxograma do processo de confecção dos compósitos.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Antes de iniciar o processo de confecção das placas foi necessário realizar a definição dos cálculos necessários para cada elemento presente nesta fabricação. No Quadro 1, podem-se observar as quantidades fundamentais para as placas de resina + argila. Importante frisar que, para todas as composições, as proporções de

acelerador e iniciador foram as mesmas: 1,5 % v/v e 1 % v/v, respectivamente, conforme utilizou: Azevedo (2019); Ferreira (2020) e Moraes (2019).

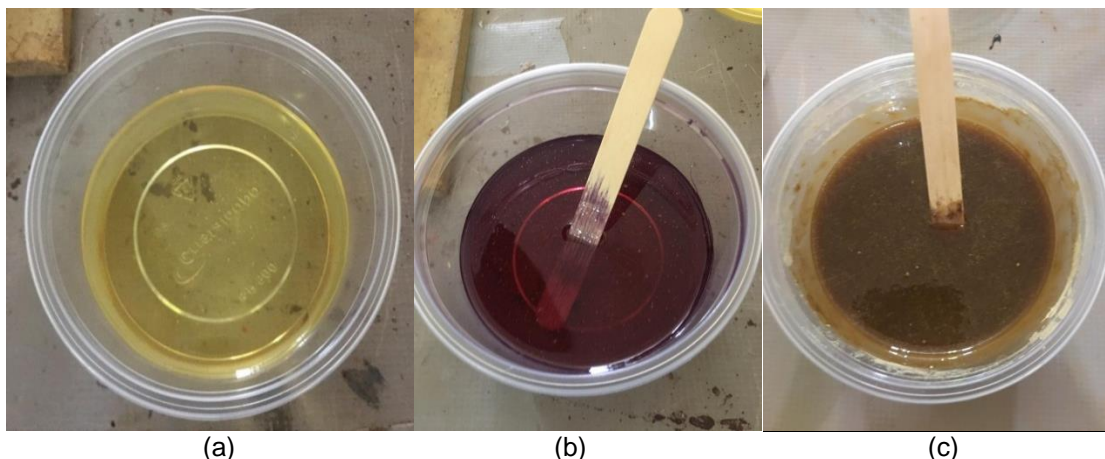
Quadro 1 – Definição das composições para as placas de resina + argila.

Resina (g)	Argila %	Argila (g)	% Mek	Mek (ml)	% Co	Co (ml)
276,00	0 %	0	1	2,76	1,5	4,14
262,20	5 %	13,80	1	2,62	1,5	3,93
248,40	10 %	27,60	1	2,48	1,5	3,72
234,60	15 %	41,40	1	2,34	1,5	3,51
220,80	20 %	55,20	1	2,20	1,5	3,31
207,00	25 %	69,00	1	2,07	1,5	3,10

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

De acordo com o Quadro 1, é possível demonstrar as composições que foram usadas para dar início ao processo de fabricação. Seguido todo o método de desagregação da argila para uso, a mesma foi disposta na estufa por 20 minutos em 105°C para retirada de umidade. Após a medição da quantidade necessária dos materiais e reagentes por meio da Tabela 1 e após os 20 minutos mencionados, foi iniciada a adição do acelerador de cobalto na proporção 1,5 % (v/v) e a quantidade de argila estabelecida para cada placa homogeneizando na mistura conforme a Figura 11.

Figura 11 – Mistura com somente resina (a), resina + acelerador (b) e resina + argila + acelerador (c).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Com a mistura homogeneizada foi inserido o iniciador MEK a fim de iniciar a reação de polimerização na proporção de 1 %. Antes da transferência da mistura para o molde (Figura 12) devidamente nivelado, foi disposta no molde uma camada

de desmoldante formando uma fina película com a função de favorecer a remoção da placa do molde seguida da prensagem. Após despejo visto na Figura 12, a mistura foi observada até atingir o ponto de gel que ficou em média de 10 e 12 minutos e assim seguindo para a prensagem que foi realizada com uma carga de 25 kN por 20 minutos. Por fim, a placa foi retirada do molde e posta em uma superfície plana (com pesos padrões em cima a fim de evitar o empenamento da placa) para iniciar o processo de cura por 24 horas em temperatura ambiente e, em seguida, preparadas para os cortes.

Figura 12 – Mistura de resina, acelerador, argila e iniciador disposta no molde nivelado.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.3.2.1 Realização dos cortes dos corpos de prova

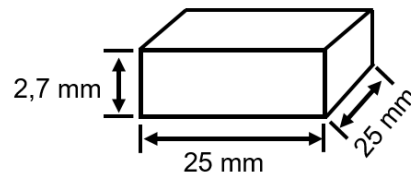
Os cortes foram seguidos de acordo com as seguintes normas:

- ASTM D792 para realizar o ensaio de massa específica aparente (MEA);
- ASTM D2734 para realizar o ensaio de porosidade aparente (PA);
- ASTM D570 para realizar o ensaio de absorção de água (AA);
- ASTM D3039 para realizar o ensaio de tração;
- ASTM D790 para realizar o ensaio de flexão;
- ASTM D635 para realizar o ensaio de flamabilidade;

Todos os cortes foram feitos utilizando uma serra circular de bancada. Para os ensaios físicos, os corpos de prova foram cortados em 25 mm de largura x 25 mm de comprimento, com 2,7 mm de espessura, como mostra o esquema táctico (Figura 13) e na Figura 14 observa-se a representação dos cortes prontos para o posterior ensaio. Para o ensaio de tração, a amostra é uma seção transversal retangular

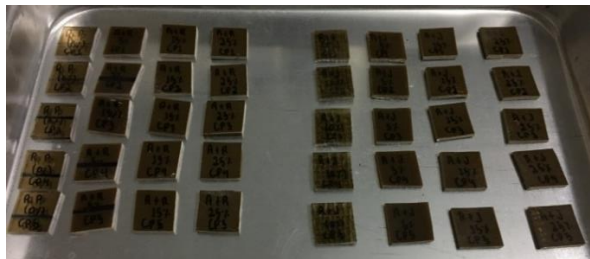
constante, medindo 25 mm de largura x 250 mm de comprimento, com 2,5 mm de espessura (Figura 15) e em suas extremidades foram colados quatro tab's de Duratex que, segundo a norma ASTM D3039, são abas opcionais que podem ser coladas nas extremidades da amostra para evitar danos e escorregamento no corpo de prova. Para o ensaio de flexão a dimensão usada foi de 12,7 mm de largura x 127 mm de comprimento, com 2,7 mm de espessura (Figura 16).

Figura 13 – Ilustração dos corpos de prova para realização dos ensaios físicos.



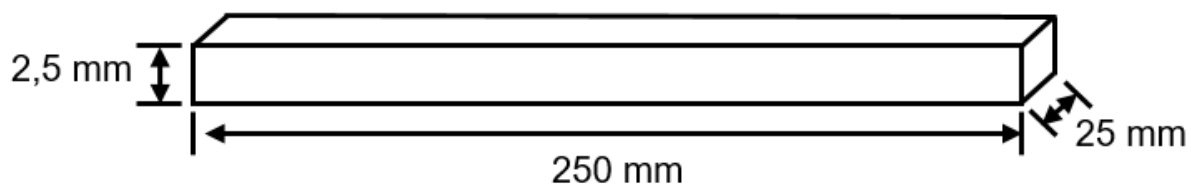
Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 14 – Corpos de prova prontos para realização dos ensaios físicos.



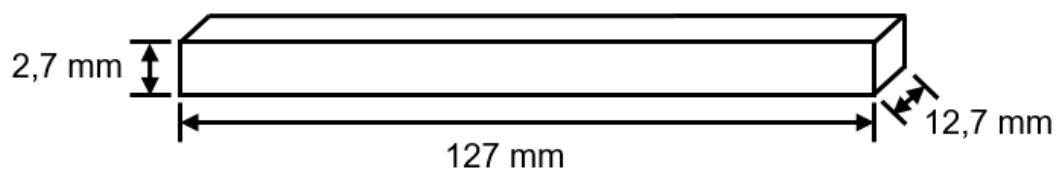
Fonte: Azevedo (2019).

Figura 15 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de tração.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 16 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de flexão.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

3.3.3 Caracterização dos corpos de prova

Nesta etapa foi possível observar os ensaios realizados afim de uma melhor avaliação das propriedades dos compósitos confeccionados.

3.3.3.1 Caracterização das propriedades físicas

Seguindo as normas estabelecidas para as propriedades físicas que foram estudadas neste trabalho são: ASTM D570 para absorção de água (AA), ASTM D2734 para porosidade aparente (PA) e ASTM D792 para massa específica aparente (MEA).

Para cada composição de compósito foram utilizados seis corpos de prova que, após serem feitas as devidas marcações, seguiram para estufa e permaneceram por 24 horas em 105°C. Posteriormente para obter os resultados dos ensaios determinou-se as massas secas (m_s) dos corpos de prova, em seguida, foram submersos em água destilada por mais 24 horas para depois determinar a massa úmida (m_u) e a massa imersa (m_i). As determinações foram feitas em uma balança analítica e na Figura 17 pode-se observar como a massa imersa foi medida.

Figura 17 - Aparato para medição da massa imersa do material.



Fonte: Azevedo (2019).

Após todos os corpos de prova serem medidos, utilizou-se as seguintes equações para obtenção dos resultados:

- Porosidade aparente, seguindo a Equação 3:

$$PA = \frac{m_u - m_s}{m_u - m_i} \times 100 (\%) \quad (3)$$

- Absorção de água, seguindo a Equação 4:

$$AA = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 (\%) \quad (4)$$

- Massa específica aparente, seguindo a Equação 5:

$$MEA = \frac{m_s}{m_u - m_i} \times \rho_{H_2O} \left(\frac{g}{cm^3} \right) \quad (5)$$

3.3.3.2 Ensaio mecânicos

A Figura 18 mostra a máquina utilizada para realizar tanto os ensaios de tração, quanto os ensaios de flexão seguindo as normas com velocidade de ensaio de 2 mm/min e a célula de carga de 5 kN.

O ensaio de tração determina as propriedades relacionadas ao comportamento dos materiais quando submetidos a esforços mecânicos.

Os dados obtidos através do ensaio de flexão são para selecionar quais partes do material irão suportar tal carga sem que se flexionem ou fraturem.

Onde para cada ensaio foram utilizados 6 corpos de prova de cada composição.

Figura 18 – Máquina universal para realização dos ensaios mecânicos (tração e flexão).



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

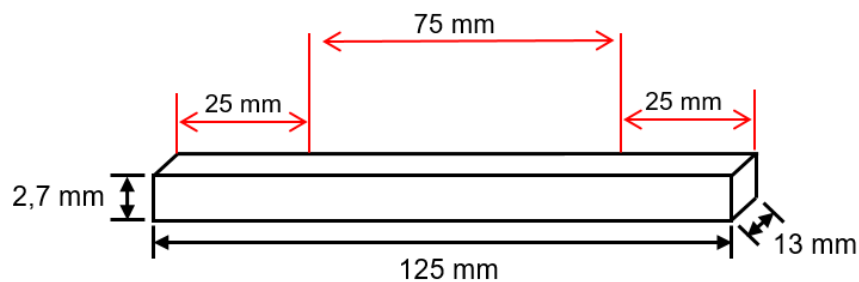
3.3.3.3 Teste de flamabilidade

A flamabilidade dos compósitos poliméricos é determinada principalmente pela resina utilizada na matriz. A queima de compósitos poliméricos apresenta algumas características tais como: facilidade de ignição e propagação de chama, relativa taxa de liberação de calor, facilidade de extinção do fogo caso utilizado os

meios certos, e, sobretudo, emissão de fumaça com elevado grau de toxicidade (KIM, 2012).

O teste de flamabilidade foi realizado na posição horizontal neste trabalho e segundo a norma ASTM D635 é um método desenvolvido para materiais poliméricos usados para peças em dispositivos e aparelhos. Para este ensaio a dimensão dos corpos de prova foi 13 mm de largura x 125 mm de comprimento, com 2,7 mm de espessura. O corpo de prova é apoiado horizontalmente em uma extremidade e a extremidade livre é exposta a uma chama vinda do bico de Bunsen em um ângulo de 45°. As extremidades ocuparam 50 mm, sobrando 75 mm de comprimento útil a ser exposto à chama, essa ilustração pode ser mais bem visualizada na Figura 19.

Figura 19 – Ilustração dos corpos de prova para realização do ensaio de flamabilidade.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Segundo a Equação 6, se obtém a taxa de queima dos corpos de prova individualmente:

$$Taxa \left(\frac{mm}{min} \right) = \frac{60 L}{t} \quad (6)$$

Onde L representa o comprimento alcançado pela queima no comprimento útil que foi de 75 mm; t significa o tempo, em segundos, necessário para o corpo de prova ser queimado até o fim do seu comprimento útil. Para este ensaio, foram utilizados 6 corpos de prova para cada composição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física dos compósitos

Na Tabela 1, é possível analisar os dados resultantes da massa específica aparente (MEA) dada em g/cm^3 , porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA), ambas dadas em porcentagem para a matriz plena e os compósitos com argila.

Vale ressaltar que houve dificuldade de fabricar compósitos de boa qualidade (sem muitos poros e defeitos em geral) para a composição de 25 % de argila do Guamá, inviabilizando a produção nessa composição e por isso a ausência de demonstrativos de resultados para a mesma.

Tabela 1 – Dados resultantes dos ensaios físicos para composições com argila.

Composição de argilas	MEA (g/cm^3)	PA (%)	AA (%)
Matriz plena	1,19	0,49	0,41
Icoaraci 5 %	1,22	1,26	1,03
Icoaraci 10 %	1,21	1,39	1,10
Icoaraci 15 %	1,29	1,53	1,18
Icoaraci 20 %	1,32	1,79	1,35
Icoaraci 25 %	1,36	2,27	1,67
Guamá 5 %	1,20	2,45	2,05
Guamá 10 %	1,24	2,84	2,34
Guamá 15 %	1,26	3,80	3,12
Guamá 20 %	1,32	1,72	1,29
Guamá 25 %	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Observa-se na Tabela 1, analisa-se que, para a massa específica aparente, todas as composições apresentaram aumento em relação à matriz plena, onde o destaque fica para a composição de 25 % de argila de Icoaraci que apresentou 14,2 % de aumento. As outras proporções apresentarem aumento em relação à matriz pode ser justificado com o método de fabricação utilizado (*hand lay up*), que favorece o surgimento de algumas falhas.

Compósitos particulados seguem a regra da mistura, onde, segundo Callister Jr. e Rethwisch (2020), cada fase constituinte do compósito contribui diretamente nas propriedades efetivas do material, sendo esta contribuição dependente apenas

da fração volumétrica dos constituintes. Vale lembrar que as formulações realizadas através da regra das misturas possibilitam apenas estimativas aproximadas.

Segundo Fang *et al.* (2013), uma das maneiras de se absorver água nos compósitos é através da presença de poros, assim pode-se se dizer que com a adição da argila aumentou a formação de poros assim aumentando a absorção de água. Efeito onde Pinnavaia e Beall (2001) apontam que pode ser explicado através do material usado como resíduo que é hidrofílico e conferem à propriedade de plasticidades as argilas.

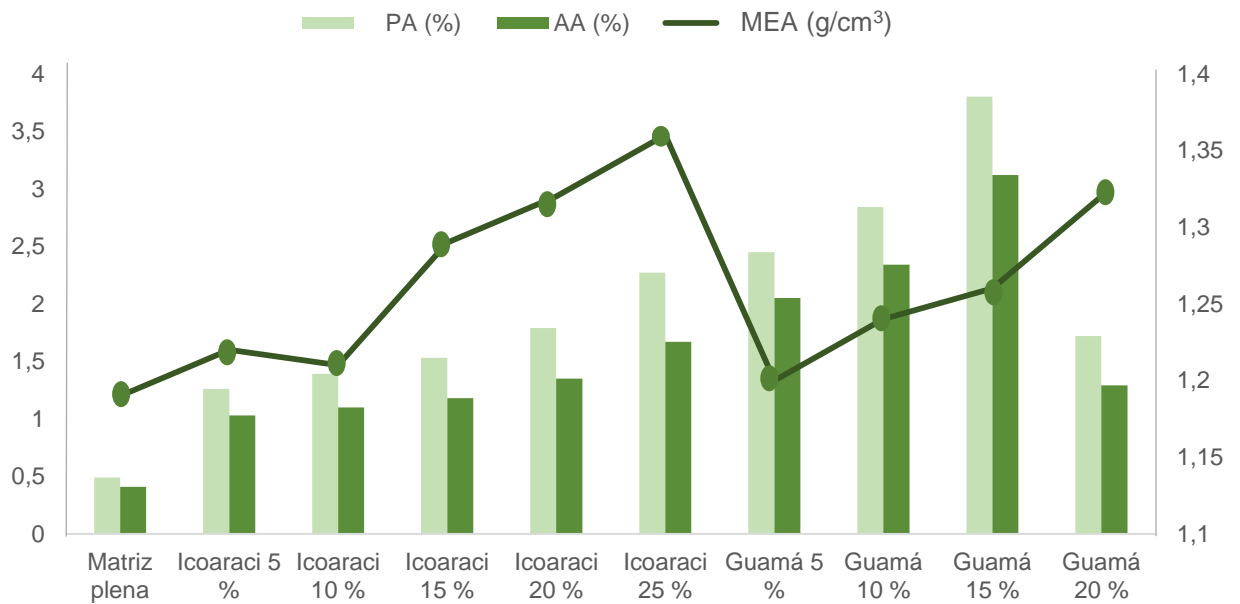
Utiliza-se o ensaio de porosidade aparente para mostrar a porcentagem de poros abertos presentes no material, visto que quanto menos poros há a ocorrência de menos pontos de concentração de tensão no material, e logo maior a resistência. Assim, pode-se inferir que a argila de Icoaraci com 5 % de argila obteve menos poros abertos, observa-se com a Tabela 1.

Já nos resultados onde a porosidade aparente é maior, pode ocasionar mais defeitos afetando assim suas propriedades mecânicas. Segundo Araújo *et al.* (2006) este alto valor de poros pode ser explicado devido ao método de fabricação utilizado, no qual há uma possibilidade de trincas e vazios devido ser feito de forma manual na medida em que a matriz é saturada com o resíduo. Apesar dos compósitos fabricados apresentarem um bom aspecto superficial, é possível que eles apresentem defeitos estruturais não visíveis macroscopicamente.

É possível observar, para a matriz plena, a absorção de água foi relativamente menor em comparação às outras amostras devido ao seu aspecto hidrofóbico.

A Figura 20 demonstra um gráfico expositivo entre a matriz plena e os compósitos com adição de resíduo quanto as suas propriedades físicas.

Figura 20 - Expositivo entre a massa específica aparente, absorção de água e porosidade aparente dos compósitos com particulados das argilas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Através da Figura 20 destaca-se que houve um efeito significativo quando comparado com a matriz plena porém não destaca uma variação significativa analisando as proporções de argila na massa específica aparente e a porosidade aparente e absorção de água mostram uma tendência crescente conforme se acrescenta argila. Essa tendência em questão de aumento da propriedade é constatada por trabalho onde também se incorporam resíduos em pó em poliésteres como: Ferreira (2020); Azevedo (2019) e Moraes (2019).

4.2 Ensaios mecânicos

4.2.1 Ensaio de tração

Ao se aplicar uma tensão com característica uniaxial e crescente em um material compósito, é possível mensurar o seu comportamento de maneira precisa até o momento da sua ruptura, que varia dependendo das propriedades de ductilidade, fragilidade e adesão entre a matriz e o reforço estudado. A realização do ensaio de tração nos materiais compósitos confeccionados seguiu a norma ASTM D 3039 e os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 2:

Tabela 2 – Dados adquiridos com o ensaio de tração.

Composição de argilas	Tensão de resistência à tração (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
Matriz plena	9,83 ± 1,59	0,71 ± 0,10	13,72 ± 0,37
Icoaraci 5 %	13,87 ± 2,47	2,35 ± 0,16	5,86 ± 0,65
Icoaraci 10 %	18,07 ± 2,56	2,68 ± 0,15	6,71 ± 0,62
Icoaraci 15 %	16,19 ± 2,98	2,47 ± 0,18	6,50 ± 0,83
Icoaraci 20 %	21,25 ± 3,20	2,81 ± 0,31	7,52 ± 0,35
Icoaraci 25 %	17,88 ± 3,34	2,52 ± 0,19	7,01 ± 0,88
Guamá 5 %	17,33 ± 2,82	2,69 ± 0,13	6,42 ± 0,86
Guamá 10 %	16,26 ± 1,44	2,50 ± 0,08	6,48 ± 0,38
Guamá 15 %	18,62 ± 1,57	2,74 ± 0,05	7,17 ± 0,47
Guamá 20 %	18,94 ± 3,32	2,68 ± 0,21	8,34 ± 0,80

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

De acordo com a Tabela 2, todas as composições apresentaram aumentos consideráveis em comparação à matriz plena para a resistência de tração, onde o maior aumento se deu na composição com 20 % de argila proveniente do distrito de Icoaraci com um aumento de 116 % em relação à matriz plena. E com menor resultado se dá para a composição com 5 % de argila de Icoaraci e ainda sim mostrou um aumento de 41 % em relação à matriz. Callister Jr. e Rethwisch (2020) explica isto devido à fase dispersa, ou seja, sua forma, tamanho, distribuição e orientação que ajuda a distribuir melhor as tensões que são exercidas no interior do material na medida em que o mesmo é tracionado.

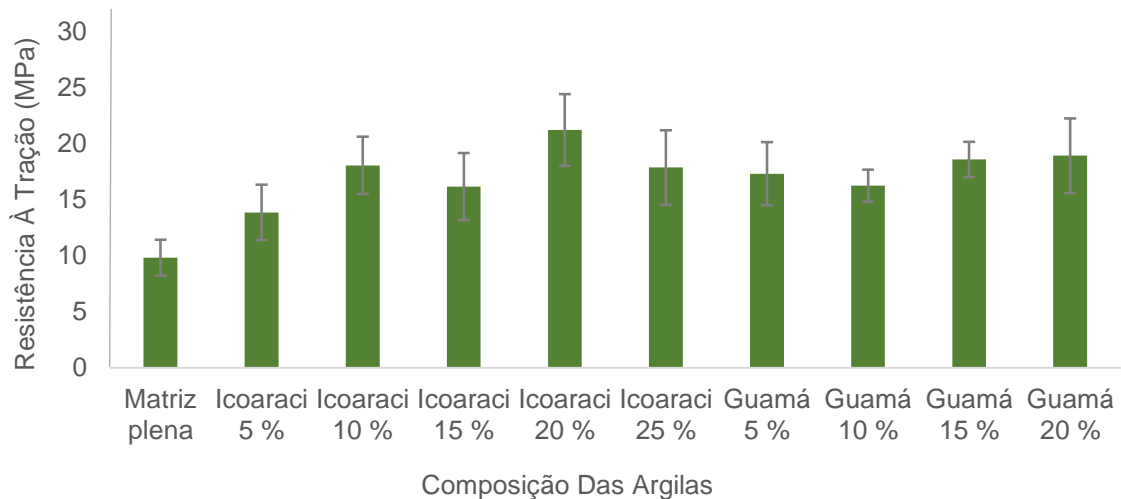
Vale ressaltar que, apesar da composição com 10 % de argila de Icoaraci apresentar uma variação maior na massa específica aparente e na porosidade aparente, as tensões de resistência à tração mostraram resultados seguindo um padrão de normalidade.

Nota-se que até a composição com 20 % de argila de Icoaraci ocorreu um aumento na resistência à tração chegando em 21,25 MPa. Porém a composição com 25 % de argila de Icoaraci conta com um decaimento da resistência para 17,88 MPa, o que pode ser explicado devido o aumento da porosidade do material que ocorre com o aumento da composição, visto que esse aumento de porosidade afeta a distribuição das tensões sofridas pela matriz para a fase dispersa, diminuindo sua

resistência mecânica. Já para as argilas do Guamá, os resultados se mostraram constantes.

A Figura 21 mostra os resultados de resistência à tração dos compósitos com as argilas comparando com o compósito de matriz plena.

Figura 21 - Gráfico do desempenho da resistência à tração de materiais compósitos com inserção de argila.

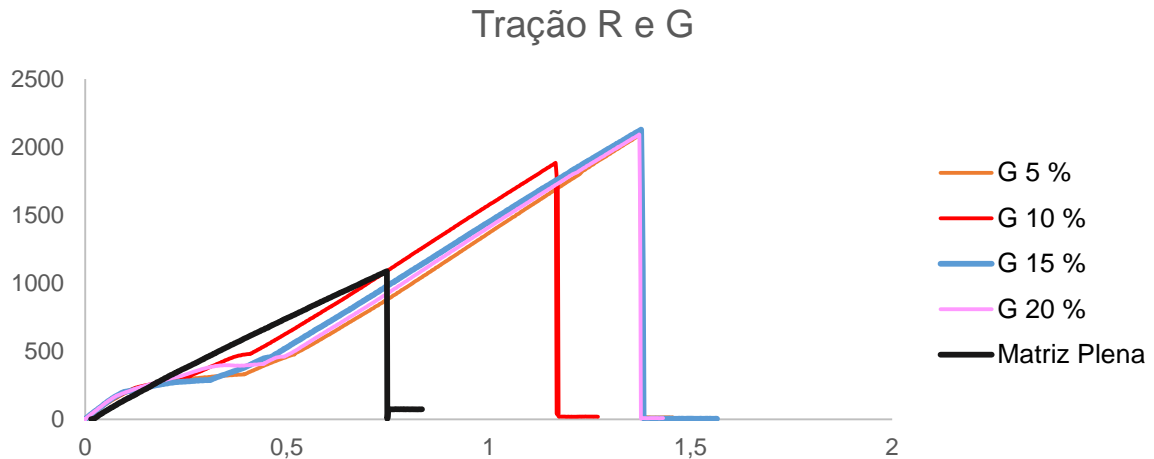


Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

De uma forma geral, nota-se que os resultados para as duas composições de argila foram superiores se comparados à matriz plena, nesse caso a argila não se comportou como enchimento dentro da matriz e sim como reforço, nas quais todas as proporções tiveram aumentos notórios da resistência à tração. Callister Jr. e Rethwisch (2020) explica que isso pode estar ligado a granulometria das partículas, por serem pequenas, essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento das moléculas da fase matriz próximo de cada partícula de reforço. A matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, podendo assim suportar cargas maiores antes que haja o rompimento de cadeias.

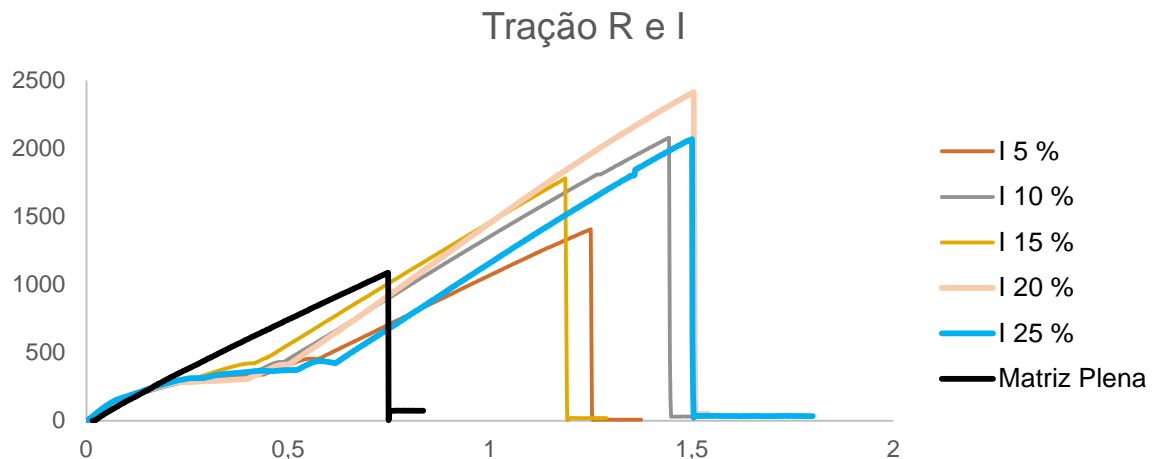
A Figura 22 e Figura 23 mostram os gráficos que relaciona força (N) e deslocamento (mm) dos compósitos poliméricos reforçados tanto com argila proveniente do Guamá quanto de Icoaraci comparadas com a matriz plena, respectivamente.

Figura 22 – Gráfico de força x deslocamento para compósitos com argila do Guamá.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Figura 23 - Gráfico de força x deslocamento para compósitos com argila de Icoaraci.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Nas Figuras 22 e 23 expostas, pode-se perceber a linearidade nas curvas durante o regime elástico até atingir sua força máxima e sofrer a ruptura bruscamente, configurando um comportamento de ruptura frágil. Na Figura 22, nota-se que a composição com 15 % de argila do Guamá foi que suportou maior carga, cerca de 2000 N. Já na Figura 23, a composição que suportou maior carga foi a com 20 % de argila de Icoaraci, suportando cerca de 2300 N.

A Tabela 3 exibe um comparativo entre a composição com 20 % de argila de Icoaraci, por ser a proporção com tensão de resistência à tração mais elevada em relação aos demais compósitos confeccionadas, e com outros resultados obtidos com a literatura.

Tabela 3 - Comparativo dos dados de tração obtidos com a literatura.

Resultados de referência	Tensão de resistência à tração (MPa)	Fonte
Icoaraci 20 %	21,25 ± 3,20	Este trabalho
Argila Icoaraci 15 %	23,05 ± 3,23	AZEVEDO (2019)
Cinza Volante 30 %	33,22 ± 3,20	FERREIRA (2020)
Resíduo de Cobre 25 %	23,47 ± 1,74	MORAES (2019)

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Por meio da Tabela 3, pode-se observar que na composição utilizada para fazer a comparação, o compósito contendo 20 % de argila de Icoaraci obteve resultado de sua tensão de resistência à tração de acordo com a média obtida em outras literaturas.

Vale ressaltar que, apesar de Azevedo (2019) utilizar a mesma fonte de argila deste trabalho, a tensão de resistência à tração entre as duas apresentar uma pequena alteração pode ser explicada pelos seguintes fatos: método de fabricação, que por ser manual apresenta variações e o lote diferente de resina utilizado entre um trabalho e outro.

4.2.2 Ensaio de flexão

A realização do ensaio de flexão de 3 pontos nos materiais compósitos confeccionados seguiu a norma ASTM D 790, estes estão expostos na Tabela 4:

Tabela 4 – Dados adquiridos com o ensaio de flexão.

Composição de argilas	Tensão de resistência à flexão (MPa)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
Matriz plena	35,15 ± 6,21	3,52 ± 0,89	0,89 ± 0,42
Icoaraci 5 %	63,34 ± 11,05	1,38 ± 0,28	5,41 ± 0,78
Icoaraci 10 %	57,62 ± 9,99	1,18 ± 0,17	6,48 ± 0,35
Icoaraci 15 %	68,53 ± 10,73	1,37 ± 0,19	6,66 ± 0,50
Icoaraci 20 %	65,92 ± 12,68	1,29 ± 0,19	5,92 ± 0,47
Icoaraci 25 %	67,69 ± 9,44	1,26 ± 0,14	5,35 ± 0,52
Guamá 5 %	64,29 ± 7,12	1,58 ± 0,47	4,97 ± 0,89
Guamá 10 %	59,70 ± 8,69	1,34 ± 0,20	5,96 ± 0,54
Guamá 15 %	67,74 ± 8,70	1,57 ± 0,20	5,02 ± 0,42
Guamá 20 %	55,62 ± 9,79	1,28 ± 0,11	2,87 ± 2,00

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os dados obtidos através do ensaio de flexão são para selecionar quais partes do material irão suportar tal carga sem que se flexionem ou fraturem.

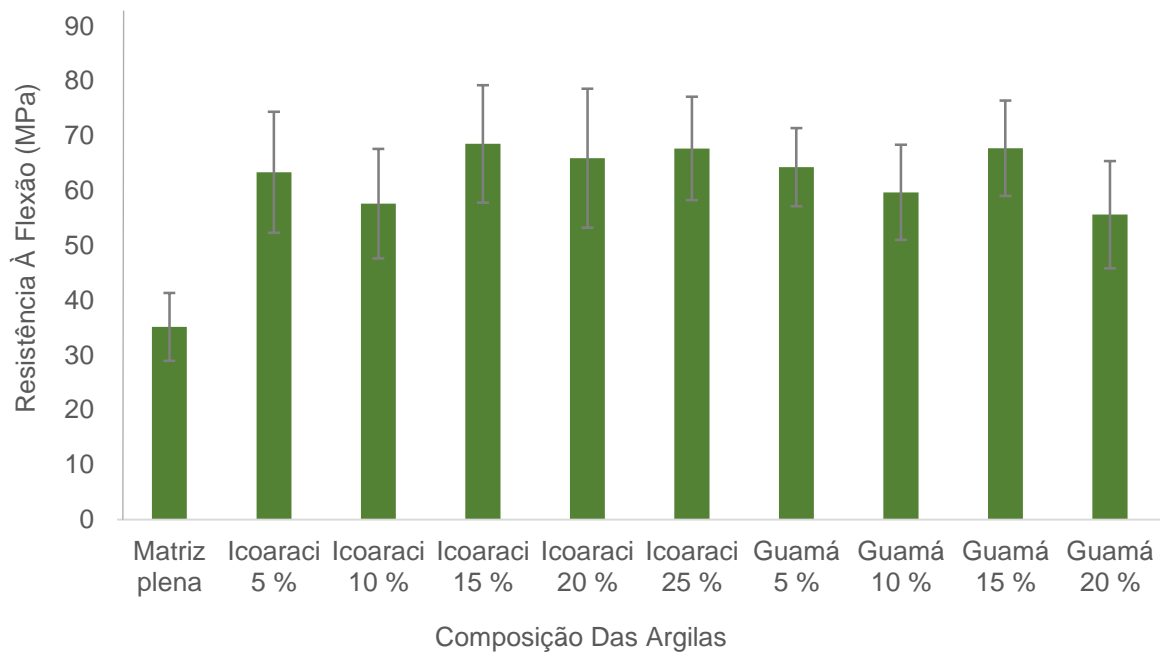
Através dos resultados expostos nota-se que em todas as composições ensaiadas houve um aumento notável na tensão de resistência à flexão quando comparadas à matriz plena, com destaque para a composição de 15 % de argila de Icoaraci com um aumento de 94,96 %. Souza (2019) atribui tal fato à presença dos particulados que reduzem a mobilidade das cadeias poliméricas, proporcionado pela adesão interfacial entre a matriz e os reforços, aumentando também a resistência de flexionar do compósito.

O módulo de elasticidade nos mostra o grau de resistência do material mediante a deformação elástica, assim informando a rigidez do mesmo. Em todas as composições ensaiadas houve um aumento deste módulo, ou seja, a rigidez do material aumentou em relação à matriz plena. O maior aumento se dá na composição com 15 % de argila de Icoaraci, apontando um aumento de aproximadamente 60 %.

El Banna (2017) também reportou que compósitos com altas quantidades de particulados na matriz polimérica acarretam em uma melhor distribuição no interior do compósito, melhorando a homogeneização e compactação, aumentando a resistência à flexão e módulo de elasticidade para os compósitos com maior fração mássica de resíduo.

A Figura 24 mostra o gráfico em comparação da matriz plena e dos compósitos com adição das argilas quanto as suas resistências à flexão.

Figura 24 - Gráfico do desempenho da resistência à flexão de materiais compósitos com inserção de argila.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Entre todas as composições, o compósito com 15 % de argila de Icoaraci obteve a maior tensão de resistência à flexão, onde pode ter ocorrido uma boa interação no sistema resíduo/matriz. Posto que de acordo com Satapathy (2016) as propriedades mecânicas de compósitos particulados são influenciadas principalmente pela presença do particulado e o tratamento sofrido pelo mesmo, onde boas propriedades mecânicas podem ser obtidas quando o particulado encontra-se de forma bem dispersa na matriz, isto é, com uma menor abertura de malha resulta em um menor tamanho de partícula, pois partículas menores possuem maior área superficial, estas partículas podem ter uma maior interação com a matriz, acarretando melhor distribuição de tensão no interior do material, e com isso absorver parte da carga aplicada na matriz para assim aumentar a resistência máxima e também a rigidez do material.

A Tabela 5 exhibe um comparativo entre a composição com 15 % de argila de Icoaraci, por ser a proporção com tensão de resistência à flexão mais elevada em relação aos demais compósitos confeccionadas, e com outros resultados obtidos com a literatura.

Tabela 5 - Comparativo dos dados de flexão obtidos com a literatura.

Resultados de referência	Tensão de resistência à flexão (MPa)	Fonte
Icoaraci 15 %	68,53 ± 10,73	Este trabalho
Argila Icoaraci 15 %	75,86 ± 8,61	AZEVEDO (2019)
Cinza Volante 10 %	92,31 ± 10,72	FERREIRA (2020)
Resíduo de Caulim 35 %	68,17 ± 1,76	MORAES (2019)

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Por meio da Tabela 5, pode-se observar que na composição utilizada para fazer a comparação, o compósito contendo 15 % de argila de Icoaraci obteve resultado de sua tensão de resistência à tração de acordo com a média obtida em outras literaturas.

4.3 Ensaio de flamabilidade

Para este trabalho, o ensaio de resistência à chama foi realizado de acordo com a norma ASTM D 635 e a resolução 498 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Na Tabela 6 estão expostas as taxas de queima obtidas dos compósitos:

Tabela 6 – Dados adquiridos com o ensaio de flamabilidade.

Composição de argilas	Taxa de queima (mm/min)
Matriz plena	24,98
Icoaraci 5 %	21,78
Icoaraci 10 %	21,08
Icoaraci 15 %	20,12
Icoaraci 20 %	24,60
Icoaraci 25 %	22,51
Guamá 5 %	22,65
Guamá 10 %	22,06
Guamá 15 %	21,38
Guamá 20 %	20,62

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Apesar de a matriz polimérica ter baixa resistência ao fogo, segundo Wang *et al.* (2018), e não ser recomendada para aplicações que sejam mais suscetíveis à

ocorrência de fogo como: cabines de avião, trens, navios e submarinos, a matriz plena ainda sim apresentou um resultado satisfatório com uma taxa de propagação de 24,98 mm/min, visto que o exigido pela norma ASTM D 635 é de 40 mm/min.

Além da resina, pode-se notar que com a adição de argila houve uma diminuição da taxa de queima, efeito desejado para que possam ser facilitadas medidas de proteção contra incêndio como conseguir mais tempo para realizar evacuação correta do local, além de amenizar a quantidade dos gases tóxicos visto que a fumaça dos polímeros pode conter substâncias como cianeto (LAWSON-SMITH *et al.*, 2011).

Segundo Ullah *et al.* (2014) a incorporação de particulados inorgânicos, com baixa flamabilidade, pode atuar na redução da quantidade de material combustível disponível para a propagação da chama, o que explicaria a progressiva redução na taxa em função do aumento no teor de particulado.

A Tabela 7 exhibe uma comparação entre a matriz plena, a proporção de 15 % de argila de Icoaraci (composição que apresentou menor taxa de queima), os valores exigidos pelas normas que este trabalho se baseou e outros resultados obtidos com as literaturas:

Tabela 7 – Comparação entre as normas utilizadas, outras literaturas e os resultados obtidos neste trabalho.

Normas e composições utilizadas para comparação	Fonte	Taxa de queima (mm/min)
CONTRAN 498	CONTRAN, 2014	100
ASTM D635	ASTM D635, 2010	40
Icoaraci 15 %	Este trabalho	20,12
Argila Icoaraci 25 %	AZEVEDO (2019)	20,29
Cinza Volante 30 %	FERREIRA (2020)	15,68
Polietileno (PE)	ASTM D635, 2010	15,20
Polietileno Tereftalato (PET)	ASTM D635, 2010	192

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Conforme as literaturas utilizadas para comparação, nota-se que as composições deste trabalho apresentaram resultados dentro da média quando comparadas com as normas e diretrizes citadas.

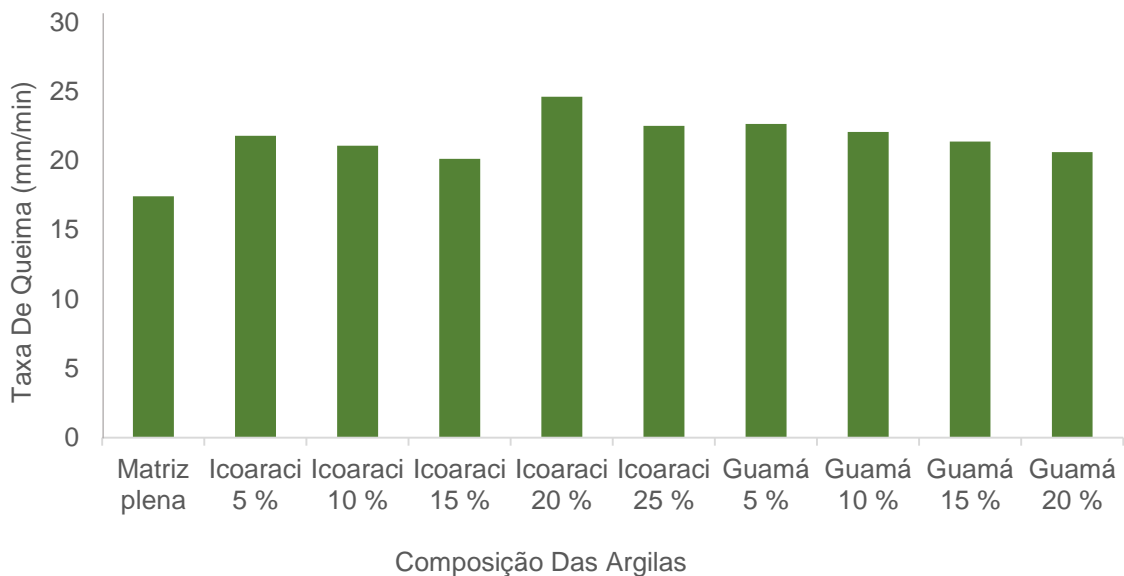
Em relação ao âmbito nacional, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) exige que os revestimentos internos da indústria automobilística obtenham uma taxa de queima de 100 mm/min. Observando os resultados obtidos nesse trabalho, nota-

se que os compósitos fabricados se encaixam de forma excelente, visto que o menor valor obteve um resultado de 79,88 % inferior à taxa de queima exigida pela norma do CONTRAN 498.

A norma ASTM D 635 exige que a taxa de propagação não exceda 40 mm/min, ou seja, também foi obtido um bom resultado, onde o menor valor garantiu uma redução de 49,7 % em relação à taxa de queima.

O gráfico da Figura 25 expõe um gráfico comparativo entre a matriz plena, suas composições com argila e suas devidas taxas de queima.

Figura 25 - Gráfico do desempenho da resistência à chama de materiais compósitos com inserção de argila.



Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Após análise dos resultados alcançados, pode-se afirmar que os materiais compósitos fabricados neste trabalho se encaixam como HB, visto que nas diretrizes da norma ASTM D 635, essa classificação é atribuída pela velocidade de combustão não ultrapassar a taxa de 38 mm/min e o maior resultado obtido ficou em 24,60 mm/min para a composição de 20 % de argila de Icoaraci.

5 CONCLUSÃO

O método *hand lay-up* foi bem sucedido na confecção das placas gerando corpos de prova sem defeitos superficiais, boa homogeneidade, com limite de massa de 25 %.

Para os ensaios físicos, a absorção de água aumentou conforme a inserção de argila no compósito, explicada pela argila ter caráter hidrofílico. Houve aumento da porosidade aparente onde o método manual pode ter influenciado no surgimento de falhas e vazios. Para a massa específica aparente também houve aumento em todas as composições.

Em relação ao ensaio de tração, mostra aumento em todas as composições em relação à matriz plena, com a maior porcentagem para a argila de Icoaraci de 20 % de massa apontando um aumento de 116 %, onde uma boa mistura na confecção influencia para uma boa interação entre matriz/resíduo, assim ajudando nas tensões internas, favorecendo o aumento da resistência à tração. Além da adição da argila ter resultado positivamente na resina e assim ter atuado como carga de reforço.

O ensaio de flexão apresentou resultados bastante favoráveis, onde a maior composição se mostrou quase duas vezes maior que a matriz plena que foi a composição com 15 % de argila de Icoaraci mostrando um aumento de 94,96 %, onde mostra a efetividade do resíduo como reforço, concluindo que houve boa homogeneização do resíduo na mistura que presumivelmente complementou os espaços vazios.

No ensaio de flamabilidade, enfatiza-se que os materiais compósitos confeccionados apresentaram uma classificação HB de acordo com a norma utilizada. Além disso, os valores obtidos foram bastante inferiores em relação ao exigido pelo CONTRAN, assim assegurando um bom uso para a parte interna na indústria automobilística. O menor valor encontrado foi a taxa de 20,12 mm/min para a composição com 15 % de argila de Icoaraci.

Os compósitos com incorporação de argila apresentaram boa viabilidade e propriedades de maneira geral. Houve o aproveitamento de uma matéria prima da natureza não causando impactos negativos ao meio ambiente. Além disso, este estudo pode servir como ponto de partida para estudos de outras perspectivas e abordagens.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Fabricar os compósitos com outras granulometrias do particulado.
- Realizar ensaio de impacto no compósito, termogravimétrico e análises químicas e mineralógicas.
- Realizar Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para analisar superfície da fratura.
- Utilizar outras fontes de material argiloso e combinar com resíduos industriais.

REFERÊNCIAS

ABRAMOVICH, Haim. **Introduction to composite materials**. In: ABRAMOVICH, Haim. *Stability and Vibrations of Thin Walled Composite Structures*. 1º Edição. Woodhead Publishing, 2017. cap. 1, p. 1 – 47.

ABREU, M. M. **Reciclagem de lama de alto forno em cerâmica vermelha**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia e Ciência de Materiais. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – Uenf, Campos dos Goytacazes – Rj, 2013. Cap. 5.

ALMEIDA, Bárbara Thays Rodrigues de. **Caracterização mecânica de compósitos híbridos de resina poliéster reforçada com fibras de babaçu (*orrbignya speciosa*) e particulados argilosos**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Pará, Marabá, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D3039. **Standard test method for tensile properties of Polymer matrix composite materials**. Annual book of ASTM standards. 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D635. **Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position**. Annual book of ASTM standards. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D790. **Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials**. Annual book of ASTM standards. 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D 792. **Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement**. Annual Book of ASTM Standards, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D2734. **Standard Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics**. Annual Book of ASTM Standards, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) D 570. **Standard Test Method for Water Absorption of Plastics**. West Conshohocken, 2010.

ASTM D3878-20a, Standard Terminology for Composite Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020.

ARAÚJO, Edcleide M. *et al.* Preparação de argilas organofílicas e desenvolvimento de nanocompósitos com matrizes poliméricas de polietileno e nylon6. parte 1: comportamento mecânico. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.16, n. 1, p.38-45, 2006.

ARAÚJO, L. A. *et.al.* **Estudo das modificações de superfície de uma argila para utilização como carga de reforço**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 2002, Natal. Rio Grande do Norte, 2002. 8 p.

ASKELAND, Donald R. **Ciência e engenharia dos materiais**. Tradução Solange Aparecida Visconti. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

ASM INTERNATIONAL. **Engineered Materials Handbook: Composites**. 4th ed. United States of America: ASM, 1993. v.1, 983p.

AUERBACH, S., CARRADO, K., DUTTA, P., **Handbook of Layered Materials**. 1 ed., New York: Marcel Dekker INC, 2004.

AZEVEDO, Amanda Chaves de. **Influência da incorporação de argila e tecidos de fibra de juta (*Corchorus capsularis*) nas propriedades mecânicas e de inflamabilidade de compósitos poliméricos**. 2019. 64 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

BIOPDI. **Ensaio de flexão**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-flexao>. Acesso em: 27 de fevereiro. 2022.

BIOPDI. **Ensaio de tração**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-flexao>. Acesso em: 27 de fevereiro. 2022.

BRANQUINHO, Tiago Emanuel Lourenço. **Processamento e caracterização de compósitos com fillers de argila expandida**. 2017. 102 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Design de Produto – Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Leiria, 2017.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Callister's materials science and engineering**. John Wiley & Sons, 2020.

CAVALCANTI, W. S. **Compósitos Poliéster/tecidos tramados vegetal-vidro: caracterização mecânica e simulação da sorção de água**. 2006. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande. Paraíba, 2006.

CHAWLA, Krishan K. **Composite Materials: Science and Engineering**. 3º Edição. New York: Springer, 2012. 542 p.

COELHO, A.C.V.; SANTOS, P.S. Argilas especiais: argilas quimicamente modificadas – Uma Revisão. **Química Nova**, v. 30, n. 5, p. 1282-1294, 2007.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO (CONTRAN). Resolução nº. 498 - **"Requisitos aplicáveis aos materiais de revestimento interno do habitáculo de veículos nacionais ou importados"**, Código de Trânsito Brasileiro – CTB, 29 de julho de 2014.

EL BANNA, W. R. **Influência do resíduo de flotação de minério de cobre nas propriedades físicas e mecânicas de compósitos de matriz termofixa e fibras de bananeira (*Musa Sapientum*, *Musacae*)**. Tese de Doutorado, 2017.

ELKINGTON, M. *et al.* **Hand lay up: understanding the manual process**. (2015) *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*, 1: 3, 138-151, DOI: 10.1080 / 20550340.2015.1114801.

ELLOUZE, A. *et al.* An advance in the use of natural resources: characterisation of the quality of impregnation of bleached alfa pulpboard by unsaturated polyester resin and evaluation of the obtained composite material's properties. **Industrial Crops and Products**. Volume 153. 2020.

FAGURY, R. V. G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pará, 2005.

FAN, J.; NJUGUNA, J. **An introduction to lightweight composite materials and their use in transport structures**. In: NJUGUNA, James. *Lightweight Composite Structures in Transport*. 1º Edição. Woodhead Publishing, 2016. cap. 1, p. 3 – 34.

FANG, H.; ZHANG, Y.; DENG, J.; RODRIGUE, D. **Effect of Fiber Treatment on the Water Absorption and Mechanical Properties of Hemp Fiber/Polyethylene Composites**. *J. Appl. Polym. Sci.* v. 127, p. 942–949, 2013.

FANGUEIRO, Raul. (2011). **Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications**. 1º Edição. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011. 420 p.

FERREIRA, Victor Hugo Mafra Monfredo. **Cinzas volantes: uma alternativa para compósitos reforçados com partículas**. 2020. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2020.

Flamabilidade: Ensaio de Resistência à Chama. **Ciência e Tecnologia da Borracha**, 2021. Disponível em: < <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/propriedades-das-borrachas-vulcanizadas/propriedades-fisicas/propriedades-termicas/flamabilidade/ensaios-de-resistencia-a-chama>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2022.

FORNES, T. D & PAUL, D. R. **Polymer** 44, 2003. p. 4993.

GALIP, H; HASINPOGLU, H; GUNDUZ, G: *J.Appl. Polym.*1999 e **Plastics Additives & Compounding**. p. 28-33; Abril 2001.

GAMA, João Paulo de Freitas. **Compósitos poliméricos a base de tecido híbrido carbono/vidro: tração e compressão uniaxiais**. 2018. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2018.

GARCIA, Amauri; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaaios dos materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

KIM, Y.K. **Handbook of Natural Fibres - Natural fibre composites (NFCs) for construction and automotive industries**. Woodhead Publishing, Volume 2, 2012, p. 254-27. ISBN 9781845696986.

KUGEL G. Direct and indirect adhesive restorative materials: a review. **Am J Dent**. 2000.

LAWSON-SMITH, P. *et al.* **Cyanide intoxication as part of smoke inhalation—a review on diagnosis and treatment from the emergency perspective**. Scand J Trauma Resusc Emerg Med, v. 2, n. 19, p.19-14, mar 2011.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Cláudio. **Compósitos Estruturais: ciência e tecnologia**. 2º Edição. São Paulo: Edgar Blucher, 2016. 418 p.

MARCELINO, Ana Carolina Brasil *et al.* **Avaliação do teor de retardante de chama na inflamabilidade e nas propriedades mecânicas da matriz poliéster**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia**, 1º Edição. São Paulo: Artliber, 2011.

MATTHEWS, F. L. *et al.* **Finite element modelling of composite materials and structures**. Boca Raton: CRC Press, 2000. 214 p.

MILANI, Charles. **Influência da incorporação de resíduos de policarbonato em compósitos fibra de vidro/poliéster**. 2015. 45f. Trabalho de conclusão de curso (Engenheiro de Materiais e Metalurgia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MORAES, Mario Henrique Moreira de. **Caracterização mecânica de compósitos de matriz polimérica com adição de resíduos sólidos industriais**. 2019. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

MOHAMMAD, Jawaid *et al.* **Sustainable Composites for Aerospace Applications**, 2018.

MOREIRA, W. Materiais 1-2. Em: **Compósitos I: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e tendências**. ABMACO, 2008.

MOURA, Marcelo F.S.F.; MORAIS, Alfredo B.; MAGALHÃES, Antônio G. **Materiais compósitos: materiais, fabrico e comportamento mecânico**. 2ª edição. Porto: Publindústria, 2010. 368 p.

NABINEJAD, Omid. *et. al.* "Effect of filler load on the curing behavior and mechanical and thermal performance of wood flour filled thermoset composite. **Journal of Cleaner Production**, ISSN: 0959-6526, vol 164, pag 1145-1156, 2017.

NAGAVALLY, R. R. "Composite Materials – History, types, fabrication techniques, advantages and applications". **International Journal of Advances in Science Engineering and Technology**, ISSN: 2321-9009, vol-4, Iss-3, Sppl. Issue-2, september 2016. PP: 87-92.

PAIVA L. B. *et al.* Argilas organofílicas: características, metodologias de preparação, compostos de intercalação e técnicas de caracterização. **Cerâmica**. v. 54, p. 213-226, 2008.

PETERHANS, H. **RTM: Resin Transfer Moulding**. 2 ed. Blumenau: Nova Letra, 2013.

PINNAVAIA, T.J.; BEALL, G.W. **Polymer-clay nanocomposites**. 1ª edição. Estados Unidos: Wiley, 2001. 370 p.

RATNA, Debdatta. **Handbook of Thermoset Resins**. Reino Unido: Smithers Rapra, 2009. 410 p.

RIBEIRO, Luciene Mendes. **Estudo da flamabilidade e resistência à chama de compósito de poliéster insaturado e fibra da folha de abacaxizeiro (PALF)**. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SANTOS, E, A. **Avaliação mecânica e microestrutural de compósitos de matriz de poliéster com adição de cargas minerais e resíduos industriais**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

SANTOS, P. S. **Ciências e tecnologia de argilas**. 2º Ed. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda, 1989, 1089 p.

SATAPATHY, S. GOLOK, B, N. "**Mechanical, dynamic mechanical, and thermal characterization of fly ash and nanostructured fly ash-waste polyethylene/high-density polyethylene blend composites**." *Polymer composites* 37.11 (2016): 3256-3268.

SHACKELFORD, James F. **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros**. 6º Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 556 p.

SILVA, Humberto Sartori Pompeo. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. 2010. 86 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

SILVA, Isabela Leão Amaral da. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta**. 2014. 95 f. Tese

(Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

SOUZA, João Henrique Santos. Materiais compósitos de matriz poliéster com reforço híbrido de tecido de fibras de juta e mantas de fibra de vidro. **Brazilian Applied Science Review**. Curitiba, v. 3, p. 777-790, jan./fev. 2019.

TANAKA, Yoshihisa; LIU, Yufu. In situ characterization of tensile damage behavior of a plain-woven fiber-reinforced polymer-derived ceramic composite. **Materials Letters**, v. 57, p. 1571-1578, 2003.

UL 94 - **Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances**. Estados Unidos, 1996.

ULLAH, S. *et al.* **Synergistic effects of kaolin clay on intumescent fire retardant coating composition for fire protection of structural steel substrate**. *Polymer Degradation and Stability*, v. 110, p. 91-103, 2014.

VELASCO, J. I. *et al.* The effect of filler type, morphology and coating on the anisotropy and microstructure heterogeneity of injection-moulded discs of polypropylene filled with aluminium and magnesium hydroxides. Part 2. Thermal and dynamics mechanical properties. **Polymer**, v. 43, p. 6813-6819, 2002.

WANG, B. *et al.* Monitoring the degradation of physical properties and fire hazards of high-impact polystyrene composite with different ageing time in natural environments. **Journal of Hazardous Materials**, v. 352, p. 92-100, 2018.