



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS COM FIBRA DE COCO

Diego Nery Rodrigues

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Belém

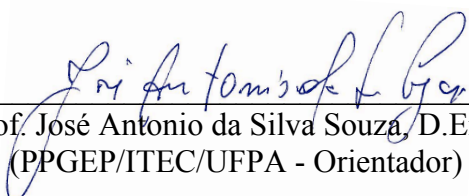
Fevereiro de 2016

**INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO EM
COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS COM FIBRA DE
COCO**

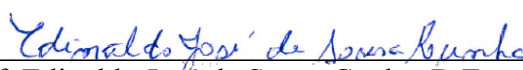
Diego Nery Rodrigues

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

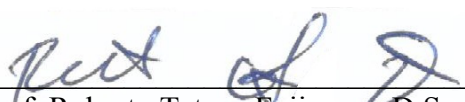
Examinada por:



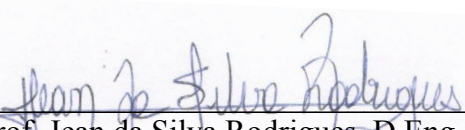
Prof. José Antonio da Silva Souza, D.Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Edinaldo José de Sousa Cunha, D.Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Prof. Roberto Tetsuo Fujiyama, D.Sc.
(PPGEI/ITEC/UFPA - Membro)



Prof. Jean da Silva Rodrigues, D.Eng.
(FEMAT/IFPA - Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

FEVEREIRO DE 2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Rodrigues, Diego Nery, 1987-

Influência da adição de resíduo de mármore e granito em compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra de coco / Diego Nery Rodrigues. - 2016.

Orientador: José Antônio da Silva Souza.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Belém, 2016.

1. Materiais compostos- propriedades mecânicas.
2. Resíduos industriais-reaproveitamento. 3. Fibras têxteis.
I. Título.

CDD 22. ed. 620.118

*Dedico este trabalho a minha querida avó
Maria de Nazaré Ferreira Nery (in
memoriam).*

AGRADECIMENTOS

A Deus por conduzir cada um dos meus passos durante esta jornada e me dar força e inspiração para conclusão deste trabalho.

À minha mãe Solange Maria Nery Rodrigues por me apoiar e me motivar durante todas as etapas da minha vida.

Ao meu pai Raimundo Nonato de Araújo Rodrigues (*in memoriam*) que estaria torcendo por cada uma de minhas vitórias.

À minha namorada Ágila Flaviana Alves Chaves por estar do meu lado e me ouvir quando precisei e por todo o companheirismo que me ofereceu.

Ao Prof. Dr. José Antônio Silva Souza por pela contribuição, orientação e ensinamentos repassados ao longo do mestrado.

Aos professores e técnicos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal do Pará pelos conhecimentos repassados, em especial ao coordenador Prof. João Nazareno Nonato Quaresma.

À Doutoranda Iara Ferreira Santos pelas orientações e todo o suporte necessário para a realização desta dissertação.

A Genilda Teixeira Pereira Amaral sempre solícita e simpática nos momentos em que eu precisei de sua ajuda.

Aos amigos Tamiris, Cleyton, Marcelo, Fabrício, Sanderson e todos do LAMP, da Usina de Materiais e do LabMev pelos momentos de convivência e descontração, meu muito obrigado.

Aos alunos de graduação em Engenharia Química Clerys, Gláucia e Osvaldo pela ajuda na produção das placas e realização dos experimentos e momentos acalorados na Usina de Materiais.

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M.Eng.)

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORÇADOS COM FIBRA DE COCO

Diego Nery Rodrigues

Fevereiro/2016

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

Neste trabalho foram produzidos compósitos com matriz de resina poliéster insaturado e utilizando resíduo de mármore e granito como carga e fibra de coco sem e com tratamento alcalino em solução de NaOH. Os compósitos foram confeccionados em formato de placas retangulares, utilizando um processo artesanal de fabricação (*hand lay-up*). O poliéster insaturado utilizado foi o isoftálico, acelerando a cura com naftenato de cobalto (MET), usando o iniciador peróxido de metil-etil-cetona (MEK-P) em porcentagens de 1,5% (v/v) tomando como base o volume total das placas. Os percentuais mássicos de fibra de coco com e sem tratamento alcalino foram 1%, 2% e 3% e resíduo de mármore e granito foram de 10%, 20%, 30% e 40% e para os compósitos híbridos utilizou 10%, 20% e 30% de resíduo de mármore e granito e variando a fibra de coco com e sem tratamento alcalino em 1% e 2% para cada percentual de resíduo. Os compósitos foram fabricados manualmente com aplicação de pressão. Corpos de prova foram preparados para a realização de ensaios de tração. Amostras foram coletadas para a obtenção da massa específica aparente e absorção de água. Propriedades como tensão máxima foram avaliados e a superfície de fratura foi avaliada por meio de microscopia eletrônica de varredura e teste de flamabilidade foi realizado conforme o padrão UL94. As análises de microscopia eletrônica de varredura da fibra de coco mostraram a degradação da fibra com o tratamento alcalino, aumento da quantidade de poros na superfície da fibra e eliminação de impurezas. As placas produzidas apresentaram boa aparência e sem defeitos externos. A difração de raio x

apresentou picos de minerais que comprovam a existência de mármore e granito. Os compósitos com fibra de coco sem tratamento e com tratamento alcalino apresentaram decréscimo da massa específica aparente e crescimento da absorção de água conforme o aumento do percentual de fibra. Os compósitos com resíduo de mármore e granito apresentaram crescimento da massa específica aparente e decréscimo da absorção de água conforme o aumento do percentual de resíduo. Nos compósitos híbridos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco sem tratamento e com tratamento alcalino o resíduo teve maior influência na massa específica aparente que a fibra de coco e a fraca ligação entre os componentes dos compósitos fez com que aumentasse a absorção de água. Nos ensaios de tração foi observado a redução da deformação dos corpos de prova com a fibra com tratamento alcalino. O teste de flamabilidade mostrou que o compósito com resíduo de mármore e granito não possui classificação no padrão UL94, porém a redução do percentual da resina poliéster diminuiu a taxa de queima, retardando a propagação da chama.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M.Eng.)

INFLUENCE OF MARBLE AND GRANITE WASTE IN POLYMER MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH COCONUT FIBER

Diego Nery Rodrigues

February/2016

Advisor: José Antônio da Silva Souza

Research Area: Process Engineering

In this work were produced composites with unsaturated polyester resin matrix and using marble and granite waste as filler and coconut fiber with and without alkali treatment in NaOH solution. The composites were made in the shape of rectangular plates, using a handmade manufacturing process hand lay-up. The unsaturated polyester used is isophthalic accelerating curing with cobalt naphthenate, using the peroxide initiator of methyl ethyl ketone (MEK -P) in percentages of 1.5 % (v/v) taking as a base the total volume of plates. The mass flow percentage of coconut fiber with and without alkaline treatment were 1 %, 2 % and 3 % and marble and granite residue were 10 %, 20 %, 30 % and 40 % and hybrid composites employed 10 %, 20 % and 30% marble and granite residue and varying the coconut fiber with and without alkaline treatment at 1% and 2 % for each residual percentage. The composites were made manually by applying pressure. Specimens were prepared to perform tensile tests. Samples were collected to obtain the apparent bulk density and water absorption. Properties such as maximum stress were evaluated and the fracture surface was evaluated by scanning electron microscopy and flammability test was performed according to standard UL94. Analysis of scanning electron microscopy showed Coir fiber degradation with alkali treatment, increasing the amount of pores on the surface of the fiber and removal of impurities. The plates produced showed good appearance and no external defects. The x-ray diffraction showed peaks minerals that prove the existence of marble and granite. The coconut fiber composites without treatment and alkali treatment showed a decrease of the bulk density and increase in water uptake as

percentage increase in fiber. The residue composites marble and granite showed apparent specific mass increase and decrease water absorption with the increase of the residue percentage. In the hybrid composites with marble residue and granite and untreated coconut fiber and alkali treatment residue had a greater influence on the bulk density, apparent that the coconut fiber and the weak bonding between the components of composites made to increase the water absorption. In tensile tests was observed to reduce the deformation of the specimens with the fiber with alkali treatment. The flammability test showed that the composite waste marble and granite has no rating in UL94 standard, however the reduction in the percentage of polyester resin decreases the firing rate , slowing the propagation of a flame.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS.....	1
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	2
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE	4
2.1 - ROCHAS ORNAMENTAIS.....	4
2.1.1 - Etapas de beneficiamento do mármore e do granito e geração de resíduos.....	5
2.2 - FIBRAS VEGETAIS.....	6
2.2.1 - Fibra de coco.....	7
2.2.2 - Tratamento alcalino em fibras vegetais.....	9
2.3 - POLÍMEROS.....	9
2.3.1 - Resina poliéster insaturado isoftálica.....	10
2.4 - COMPÓSITOS.....	12
2.4.1 - Compósitos poliméricos.....	13
2.4.2 - Compósitos reforçados com fibras vegetais.....	14
2.4.3 - Compósitos com carga particulada.....	14
2.4.4 - Processos de fabricação de compósitos.....	15
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 - MATERIAIS.....	16
3.1.1 - Resina poliéster insaturado isoftálica.....	16
3.1.2 - Resíduo de mármore e granito.....	16
3.1.3 - Fibra de coco.....	17
3.2. - METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	17
3.2.1 - Preparação das mantas de fibra de coco.....	17
3.2.2 - Confeção das placas retangulares.....	18
3.2.3 - Difração de raio-X.....	20
3.2.4 - Microscopia eletrônica de varredura.....	21
3.2.5 - Massa específica aparente e absorção de água.....	21
3.2.6 - Ensaio de tração.....	22
3.2.7 - Teste de flamabilidade.....	22
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 - SUPERFÍCIE DA FIBRA DE COCO SEM E COM TRATAMENTO ALCALINO.....	25
4.2 - PLACAS RETANGULARES.....	26
4.3 - DIFRAÇÃO DE RAIO-X DO RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO.....	28
4.4 - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	29

4.4.1 - Compósitos com fibra de coco.....	29
4.4.2 - Compósitos com resíduo de mármore e granito.....	31
4.4.3 - Compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	33
4.5 - ENSAIO DE TRAÇÃO.....	35
4.5.1 - Compósitos com fibra de coco.....	35
4.5.2 - Compósitos com resíduo de mármore e granito.....	38
4.5.3 - Compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	41
4.6 - TESTE DE FLAMABILIDADE VERTICAL E HORIZONTAL UL94.....	46
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Principais transformações da indústria de pedras ornamentais...	5
Figura 2.2	Ilustração do coqueiro e corte do coco longitudinal com a descrição de suas partes.....	8
Figura 2.3	Esquema de um éster insaturado.....	10
Figura 2.4	Processo de síntese da resina poliéster.....	11
Figura 2.5	Classificação dos compósitos.....	13
Figura 3.1	Resina de poliéster insaturado isoftálica (a); Iniciador peróxido de etil-metil cetona (MEK-P) (b); Acelerador de cobalto (c).....	16
Figura 3.2	Resíduo de mármore e granito obtido após o beneficiamento....	17
Figura 3.3	Fibra de coco.....	17
Figura 3.4	Forma retangular utilizada para fabricação do compósito.....	18
Figura 3.5	Preparação do compósito com fibra de coco e resíduo de mármore e granito.....	19
Figura 3.6	Esquema de confecção dos compósitos.....	20
Figura 3.7	Difratômetro de raio-X, modelo X'PERT PRO MPD (PW3040/60).....	20
Figura 3.8	Equipamento para MEV de bancada da marca HITAGUI (modelo TM 3000).....	21
Figura 3.9	Aparato utilizado para teste de flamabilidade.....	23
Figura 4.1	Superfície da fibra de coco sem tratamento com aumento de 150x.....	25
Figura 4.2	Superfície da fibra de coco com tratamento (a) com aumento de 150 vezes (b) com aumento de 300 vezes.....	26
Figura 4.3	Placas retangulares contendo os compósitos com resíduo de mármore e granito.....	27
Figura 4.4	Placas retangulares contendo matriz plena e compósitos com fibra de coco.....	27
Figura 4.5	Placas retangulares do compósitos híbridos com resíduo e mármore e granito e 1% fibra de coco.....	28
Figura 4.6	Difração de raio X do resíduo de mármore e granito.....	28
Figura 4.7	Massa específica aparente dos compósitos com fibra de coco....	30
Figura 4.8	Absorção de água dos compósitos com fibra de coco.....	31
Figura 4.9	Massa específica aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	32
Figura 4.10	Absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	32
Figura 4.11	Massa específica aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	34
Figura 4.12	Absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	35
Figura 4.13	Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com fibra de coco sem e com tratamento.....	36
Figura 4.14	Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 1% de fibra de coco sem tratamento alcalino....	37
Figura 4.15	Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 3% de fibra de coco sem tratamento alcalino....	37

Figura 4.16	Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 1% de fibra de coco com tratamento alcalino....	38
Figura 4.17	Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 3% de fibra de coco com tratamento alcalino....	38
Figura 4.18	Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com resíduo de mármore e granito.....	39
Figura 4.19	Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito.....	40
Figura 4.20	Sedimentação de partículas do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito.....	40
Figura 4.21	Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 20% de resíduo de mármore e granito.....	41
Figura 4.22	Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com resíduo de mármore e granito fibra de coco sem e com tratamento.....	43
Figura 4.23	Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito e 2% de fibra de coco sem tratamento alcalino.....	44
Figura 4.24	Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco sem tratamento alcalino.....	44
Figura 4.25	Descolamento da fibra de coco do compósito com resíduo de mármore e granito e fibra de coco sem tratamento alcalino.....	45
Figura 4.26	Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino.....	45
Figura 4.27	Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino.....	46
Figura 4.28	Corpo de prova durante o ensaio de flamabilidade na vertical...	47
Figura 4.29	Gráfico da taxa de queima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Composição de fibras vegetais.....	7
Tabela 2.2	Comparação de diferentes processos de fabricação de compósitos.....	15
Tabela 3.1	Valores de cada material utilizado na confecção das placas.....	19
Tabela 3.2	Critérios de avaliação teste de flamabilidade vertical da norma UL94.....	23
Tabela 4.1	Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com fibra de coco.....	29
Tabela 4.2	Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	31
Tabela 4.3	Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	33
Tabela 4.4	Tensão máxima dos compósitos com fibra de coco.....	36
Tabela 4.5	Tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	39
Tabela 4.6	Tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.....	42
Tabela 4.7	Taxa de queima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.....	47

NOMENCLATURA

AA - Absorção de água

MAS - Anidrido Maleico (ou Anidrido Succinio)

MEA - Massa específica aparente

MEK-P - Metil Etil Cetona

MET - Acelerador de Cobalto

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

RMG - Résiduo de mármore e granito

RTM - Resin Transfer Molding

UL - Underwriters Laboratories

VARTM - Vacuum-Assisted Resin Transfer Molding;

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

As empresas de beneficiamento de mármore e granito, acumulam grande quantidade de resíduos que provêm dos processos de corte, serragem e polimento das pedras e sem uma destinação adequada colocam em risco a saúde de seus colaboradores e ocasionam desperdício de material.

A reutilização desses materiais vem sendo um desafio para essas indústrias e uma alternativa é incorporar o resíduo no processo de fabricação de outros produtos. Do ponto de vista ambiental pode ser considerada uma solução positiva e é uma forma de reduzir vários problemas que a deposição ou estocagem indevida acarreta a comunidade e as empresas geradoras.

Uma opção é a aplicação desses resíduos minerais como carga em compósitos. O assunto é muito pesquisado no meio acadêmico e industrial devido a vários aspectos positivos encontrados nos trabalhos do ramo, onde visa a redução do consumo da resina e tem como principais vantagens: a redução de custo de produção, densidade controlada, melhora do processamento, melhoria estética, controle da expansão térmica, resistência elétrica e susceptibilidade magnética, além da melhoria de propriedades mecânicas, tais como a dureza, resistências à tração, flexão e ao impacto.

As matrizes poliméricas tem destaque no cenário mundial por uma série de fatores, dentre eles destaca-se a boa molhabilidade e trabalhabilidade da resina, necessita de baixo tempo de cura e baixo custo de produção, são mais leves que os materiais utilizados na construção civil, sendo uma boa opção para substituição de recursos mais escassos como é o caso da madeira.

De acordo com TIMMINS (2011) a indústria mundial de materiais compósitos chegou a um valor total de 17,7 Bilhões de dólares em 2010 e, apesar de uma economia mundial ainda lenta, sua taxa de crescimento foi de 10,3%. Da receita global do mercado de materiais compósitos, resinas representaram 8,8 bilhões de dólares e fibras corresponderam a US\$ 7,7 bilhões, com materiais auxiliares cobrindo o restante. Em 2016, prevê-se que a indústria de materiais compósitos atingirá 27,7 bilhões de dólares - uma taxa de crescimento anual de 7,8%.

A incorporação de fibras naturais como reforço na matriz polimérica tem grande destaque e importância na área dos materiais compósitos pelo caráter sustentável já que o acréscimo delas acarreta em redução do consumo da resina poliéster, material derivado do petróleo, que hoje é visto como grande causador de danos a atmosfera, e por elas melhorarem suas propriedades mecânicas, agindo como reforço no compósito, são abundantes na natureza e necessitam de um baixo custo para sua aquisição, além da facilidade de serem extraídas e não serem tóxicas e surgem como uma possibilidade de fabricação de novos produtos a partir do reaproveitamento de resíduos sólidos naturais

Este trabalho possibilita analisar a aplicação e uma destinação sustentável para um resíduo como o de mármore e granito que pode acarretar em danos à saúde da população em uma área como a dos materiais compósitos, que vem apresentando crescimento ao longo dos anos e a incorporação de uma fibra que é abundante na região Amazônica e avaliar a possibilidade de criação de um material moderno e com propriedades eficientes para a linha de aplicação mais viável.

Este trabalho tem como objetivo geral: Produção de placas fabricadas a partir de uma matriz de resina poliéster insaturado isoftálica e utilizando resíduo de mármore e granito como carga de enchimento e fibra de coco com e sem tratamento químico como reforço para aplicação na construção civil.

Como objetivos específicos tem-se:

- a) Avaliar a técnica de fabricação manual dos compósitos com aplicação de pressão.
- b) Analisar o comportamento da fibra de coco diante de um tratamento com 5% de NAOH.
- c) Avaliar as propriedades físicas como massa específica aparente e absorção de água dos compósitos poliméricos.
- d) Estudar o comportamento mecânico através de ensaio de tração seguindo a norma ASTM D3039 e analisar a superfície de fratura através de análise de microscopia eletrônica de varredura
- e) Realizar teste de flamabilidade para classificar as propriedades retardantes de chama dos compósitos baseado na norma UL94.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No presente capítulo foram discutidos a motivação e o objetivo para a realização do aproveitamento do resíduo de mármore e granito e a fibra de coco com aplicação na

indústria de compósitos, bem como os objetivos pretendidos neste trabalho.

O Capítulo 2 mostra a revisão bibliográfica e estado da arte referente ao mármore e granito e as etapas de beneficiamento dos minérios, as fibras vegetais destacando a fibra de coco mostrando suas características, vantagens e aplicações, os conceitos de polímeros e materiais compósitos, suas classificações e tipos de processos de fabricação de compósitos.

O Capítulo 3 apresenta os materiais utilizados para a fabricação dos compósitos e a metodologia experimental realizada.

O Capítulo 4 trata dos resultados e discussão dos experimentos realizados como massa específica aparente, absorção de água, ensaios de tração e teste de flamabilidade.

Finalmente, no Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões e sugestões para a continuação do trabalho em etapas posteriores.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA E ESTADO DA ARTE

2.1. ROCHAS ORNAMENTAIS

Entende-se por rochas ornamentais todo material de caráter geológico extraído da natureza em formatos de blocos e placas, trabalhados para serem usados em diversas aplicações, destacando-se nas áreas da construção civil e conforme Chiodi Filho *et al* (2009), também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, cortados em formas variadas e beneficiados por meio de esquadreamento, polimento, lustro, etc. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se neste caso os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, dentre outros.

As pedras para revestimento subdividem basicamente em dois grandes grupos: granitos e mármore. Granitos são rochas de composição silicática e mármore em sua maioria são de composição carbonática. Outros tipos de rochas também podem ser considerados ornamentais, como é o caso do quartzito, dos serpentinitos, dos travertinos e das ardósias (MARÇAL, 2011).

Os mármore são rochas metamórficas constituídas principalmente por calcita e/ou dolomita (MELLO, 2006). Os calcários possuem em sua composição principalmente calcita (CaCO_3), enquanto que os dolomitos são constituídos basicamente por dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), ambas são consideradas rochas sedimentares (ABIROCHAS, 2009).

No setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo mármore é empregado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro (ABIROCHAS, 2009).

O termo granito (*granite*) designa um amplo conjunto de rochas silicáticas, abrangendo monzonitos, granodioritos, charnockitos, sienitos, dioritos, diabásios/basaltos e os próprios granitos, geradas por fusão parcial ou total de materiais crustais preexistentes. A composição mineralógica desses “granitos” é definida por associações muito variáveis de quartzo, feldspato, micas (biotita e muscovita), anfíbolios (sobretudo hornblenda), piroxênios (aegirina, augita e hiperstênio) e olivina. Alguns desses constituintes podem estar ausentes em determinadas associações

mineralógicas, anotando-se diversos outros minerais acessórios em proporções bem mais reduzidas. Quartzo, feldspatos, micas e anfibólios são os minerais dominantes nas rochas graníticas e granitoides (ABIROCHAS, 2009).

2.1.1. Etapas do Beneficiamento do mármore e do granito e geração de resíduos

Após as rochas serem retiradas da natureza em formatos de blocos, elas são levadas para as fabricas onde passam por duas etapas de beneficiamento até chegar a seu produto final, são elas, segundo SPÍNOLA (2004): o beneficiamento primário que é feito nas serrarias que é o corte de blocos brutos em chapas, por meio de equipamentos denominados teares, ou em tiras e ladrilhos por meio de talha-bloco para a produção de ladrilhos. A grosso modo, cada metro cúbico de pedra bruta gera 30 m² de chapas, variando de acordo com a espessura da chapa, tipo e qualidade do material. O último processo de transformação ocorre nas marmorarias, cujos principais produtos são materiais de revestimento interno e externo em construções, além de peças isoladas como bancadas, soleiras, rodapés e objetos de decoração. Para atender à demanda do consumidor final, as marmorarias situam-se na fase do corte que dá dimensões e detalhes de acordo com as especificações requeridas. A Figura 2.1 mostra as diversas transformações desde a matéria prima até o produto final.

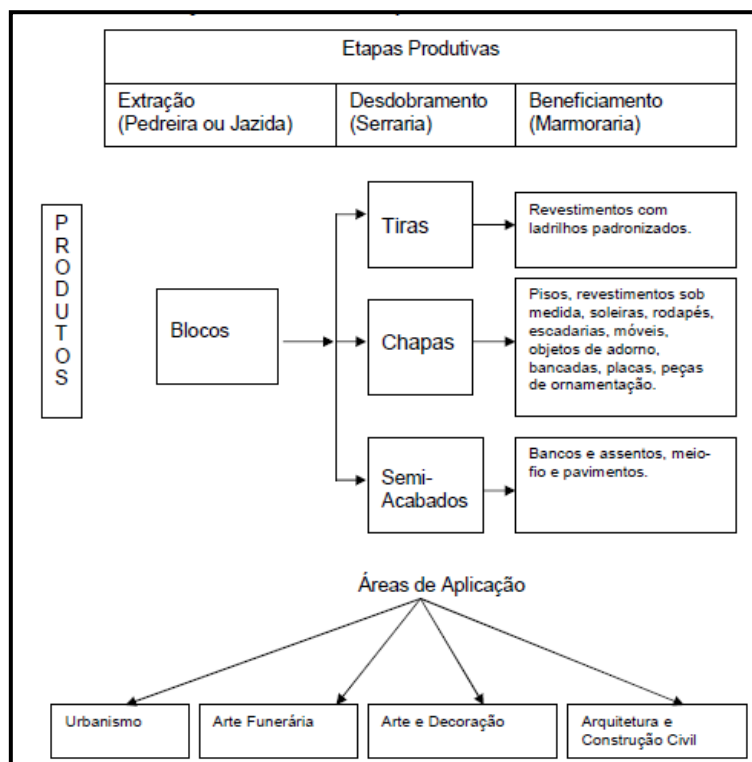


Figura 2.1 - Principais transformações da indústria de pedras ornamentais.
Fonte: VILLASCHI FILHO e SABADINI (2000).

Em termos percentuais, uma grande quantidade do material é perdida nas etapas de beneficiamento dos materiais, a maior parte vem do processo de serragem, onde Moreira *et al.* (2003) cita que durante esse processo perde-se em média de 20% a 25% do bloco, transformando-se em pó, originando um grande volume de resíduo. Na fase de polimento as perdas podem atingir 10% da produção total. Esta rocha sai misturada com água, resina (se foi colocada sobre a chapa) e restos do material abrasivo. No total estima-se, em média, que a perda da pedra da extração até o consumidor final é de aproximadamente 60% (VILASCHI e SABADINI, 2000).

Toda essa demanda de resíduo pode ser utilizada em fins sustentáveis, por se tratar de um resíduo que pode ser reaproveitado em novos processos, servir de matéria para novos produtos e gerar emprego e renda a população

2.2. FIBRAS VEGETAIS

Na Amazônia pode ser encontrada uma extensa quantidade de fibras vegetais que possuem diversas aplicações dentro da engenharia, sendo que as principais são na indústria automobilística, de energia, alimentícia e construção civil.

As fibras naturais vegetais podem ser consideradas um compósito fibroso natural, constituído de fibras de celulose- polímero natural $C_6H_6O_5$ – alinhadas em paralelo em relação aos seus eixos, dispersas em lignina – resina polimérica natural, entre outros materiais constituintes variáveis que diferenciam as espécies vegetais (LIMA JR, 2007).

O aproveitamento das fibras vegetais possuem diversas vantagens dentre elas segundo MARINELLI *et al.* (2008), pode-se destacar:

- Disponibilidade ilimitada;
- Enorme diversidade de plantas lenhosas e fibrosas encontradas na biodiversidade amazônica;
- São menos abrasivas que as fibras sintéticas usualmente usadas como reforço;
- São materiais biodegradáveis sendo menos agressivos ao meio ambiente;
- Representam uma fonte de renda para a população rural;
- Apresentam baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais similares neste campo de aplicação;
- Apresentam baixo custo em relação a reforços atualmente empregados;
- Alternativas potenciais, economicamente rentáveis para fixação de carbono na natureza.

As fibras vegetais são classificadas de acordo com a sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente (algodão), fibras de caule (juta, linho, bambu, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz (zacatão). As fibras oriundas do caule ou das folhas são chamadas fibras duras e são mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos (SILVA, 2003). A Tabela 2.1 mostra a composição das principais fibras vegetais.

Tabela 2.1 - Composição de fibras vegetais.

Fonte de Fibra	Ângulo espiral (°)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinzas (%)	Água (%)
Sisal	20	65,8	12	9,9	0,8	0	10
Folha de Bananeira	-	60-65	6-8	5-10	0	4,7	10-15
Juta	8,0	64,4	12	11,8	0,2	0	10
Rami	7,5	68,6	13,1	0,6	1,9	0	10
Coco	45	36-43	0,15-0,25	20-45	3,0	2,7-10,2	10-12
Algodão	-	82,7	5,7	-	5,7	0	10
Linho	10,0	64,1	16,7	2,0	1,8	0	10

Fonte: GASSAN e BLEDZKI (1999).

2.2.1. Fibra de coco

A casca do coco verde, assim como a do coco maduro, é constituída por uma fração de fibras e outra denominada de pó. As fibras de coco são materiais lignocelulósicos obtidos do mesocarpo de cocos conforme a Figura 2.2 e caracterizam-se pela sua dureza e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (SILVA *et al.*, 2006). A quantidade de fibra obtida de cada fruto é bastante significativa, pois o mesocarpo chega a constituir até 25% do volume total do fruto (SANTOS, 2007). O alto conteúdo de lignina permite que a degradação da fibra de coco ocorra muito mais lentamente que outras fibras vegetais (HEJAZI *et al.*, 2012).

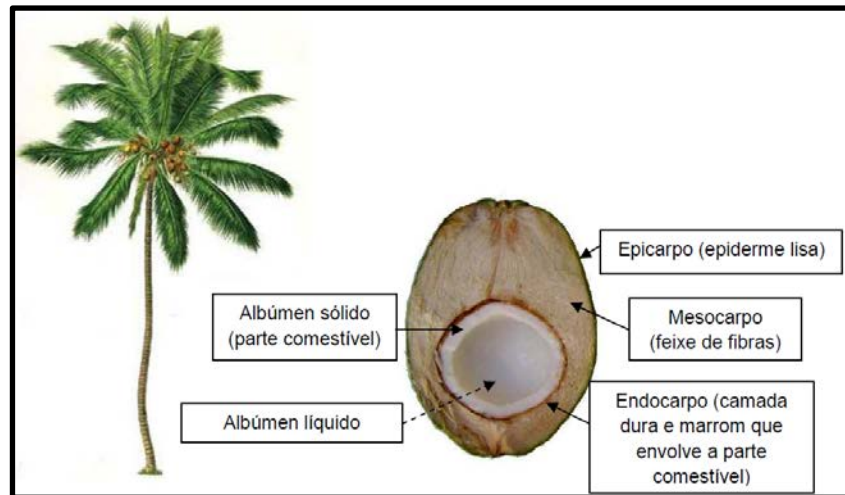


Figura 2.2 - Ilustração do coqueiro e corte do coco longitudinal com a descrição de suas partes.

Fonte: BENASSI (2006).

A fibra de coco é muito utilizada como reforço por melhorar, em alguns casos, a resistência mecânica dos materiais os quais ela é empregada, onde Silva *et al.* (2008) afirma que as principais finalidades de se reforçar matrizes com fibras estão ligadas ao aumento da resistência a tração, flexão e ao impacto, prevenindo ou retardando o aparecimento de fissuras, o que diminui a abertura das mesmas, e pode conferir maior capacidade de absorção de energia antes da ruptura.

Um fator que interfere positivamente o desempenho da fibra na matriz é a sua rugosidade interfacial. De acordo com MONTEIRO *et al.* (2006) a rugosidade superficial das fibras de coco, particularmente as saliências dispostas como fileiras de pequenos nódulos, ajuda na adesão da matriz durante o processo de cura e assim melhora a tensão interfacial, acarretando melhor resistência mecânica do compósito.

Algumas das propriedades mais comuns, que tornam esta fibra tão especial são: a alta elasticidade, maior que na maioria das outras fibras vegetais conhecidas; a alta resistência à umidade e às condições climáticas; e alta resistência ao desgaste (MESQUITA, 2013).

O comprimento da fibra de coco nacional varia de 10 a 200mm, e o seu diâmetro é de cerca de 0,3mm, no entanto, as suas fibrilas são muito curtas, com comprimento entre 0,4 e 1,0 mm e diâmetro na faixa de 0,016 a 0,020 mm, sendo, portanto inadequadas à produção de celulose e papel, tem baixo teor de celulose quando comparadas com outras fibras, sua estrutura é bem aberta, devendo ser esta a razão de sua melhor resistência à ação dos álcalis do que as fibras de alto teor de celulose (MALAINE *et al.*, 2005; MOURA, 2001 *apud* DA SILVA 2006).

Atualmente, a fibra de coco verde está sendo introduzida no ramo da construção civil para produção de compósitos com diferentes matrizes como, por exemplo, a polimérica e a cimentícia com o objetivo de reforçar os materiais desenvolvidos. A facilidade de produção a baixa densidade e a alta disponibilidade são as principais vantagens apresentadas por essa fibra (PEREIRA, 2012).

2.2.2. Tratamento alcalino em fibras vegetais

Os tratamentos convencionalmente realizados na superfície das fibras vegetais visam diminuir a higroscopicidade destas e/ou aumentar a capacidade de interação das fibras com a resina, o que pode influenciar nas características finais do compósito particulado (MESQUITA, 2013).

Existem vários tipos de tratamentos superficiais de fibras naturais. Bedin (2014) cita que o mais comum dentre eles é o processo de alcalinização ou mercerização, que consiste em tratar as fibras com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) e Mwaikambo e Ansell (2002) enfatiza que é o mais comumente tratamento usado quimicamente para branqueamento e / ou limpeza da superfície das fibras vegetais.

O processo alcalino consiste em um tratamento das fibras com solução de NaOH, que provoca uma redução no grau de agregação das fibras, levando a uma melhor interação na interface fibra/resina (MESQUITA, 2013).

2.3. POLÍMEROS

Polímero é um composto químico de massa molar elevada, formado por muitas moléculas simples, iguais (monômeros) ou de vários tipos diferentes, unidas umas às outras por ligações covalentes, resultantes de muitas reações de adição ou de condensação (substituição) consecutivas. Quando um polímero é formado a partir de um único monômero, ele é nomeado homopolímero, e copolímero quando os monômeros são diferentes (CANEVAROLO JÚNIOR, 2006). De acordo com a estrutura do polímero ele poderá apresentar comportamento mecânico em plástico, em elástico ou em fibra. Sua estrutura, também, define as propriedades tecnológicas em termoplástico ou termorrígido (CERQUEIRA, 2010).

Os materiais termoplásticos tem como característica a possibilidade de mudar de estado físico diversas vezes, onde o aquecimento desse material enfraquece as forças intermoleculares e o que os torna flexíveis a essas mudanças. Esse ciclo de aquecimento e resfriamento pode ser repetido indefinidamente, sendo essa a maior de suas vantagens.

Exemplos desses materiais são: polietileno de alta densidade e baixa densidade (PEAD e PEBD), cloreto de polivinila (PVC), poliestireno (PS), poliamida (náilon), polipropileno (PP), poli (tereftalato de etileno) (PET) e muitos outros (MORAES *et al*, 2010).

Os materiais termorrígidos correspondem aos primeiros polímeros obtidos artificialmente. A característica mais marcante desse grupo de plásticos é a alta dureza e a resistência térmica. Parte significativa dos termorrígidos é processada utilizando cargas minerais como material reforçante, tais como: fibras, talcos, ou até mesmo resíduos plásticos, resultando em um compósito de matriz polimérica (CERQUEIRA, 2010).

2.3.1. Resina poliéster insaturado isoftálica

A resina poliéster insaturado possui uma infinidade de aplicações para a fabricação de produtos aplicados a engenharia. Segundo GRISON (1987) elas são dispostas em quatro tipos: ortoftálica, isoftálica, bisfenólica e éster-vinílica.

O poliéster insaturado possui uma série de características benéficas. SILVA (2008) menciona que dentre elas podemos destacar: custo relativamente baixo, facilidade de manuseio (em estado líquido), cura fácil, boas propriedades elétricas, térmicas e mecânicas, facilidade de coloração, caso seja necessário e modificações para necessidades mais específicas.

As matérias-primas para a obtenção da resina poliéster insaturado, segundo SILVA (2008) são: glicóis, ácidos/anidridos saturados ou insaturados, monômeros e inibidores. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada. A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água (LEVY NETO e PARDINI, 2006). A Figura 2.3 mostra o esquema de um éster insaturado.

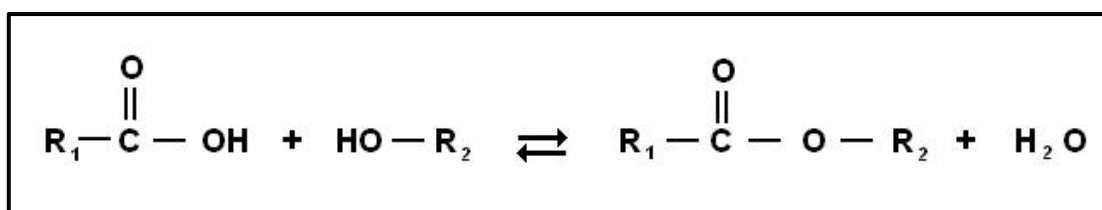


Figura 2.3 - Esquema de um éster insaturado.
Fonte: LEVY NETO e PARDINI (2006).

Os anidridos mais usuais na indústria são o MSA que é um anidrido insaturado, responsável pela posterior reação com o estireno (monômero usado já depois do corte da resina) e o anidrido tetrahidroftálico que é um composto não aromático, que dá resistência química à resina (SILVA, 2008).

Os ácidos que compõem a resina poliéster são divididos em dois grupos, os saturados e os insaturados. Os insaturados são utilizados para fornecer as insaturações ao polímero, sem as quais não há formação do *cross-linking* ou retículo tridimensional. O ácido insaturado fornece os pontos reativos para ocorrer o *cross-linking*. O mais usado é o ácido maleico que tem um ponto de fusão baixo e faz com que a água formada durante a reação de esterificação seja em pouca quantidade, permitindo uma reação rápida. Os saturados mais comuns são o ácido ortoftálico e o isoftálico. A resistência química de um poliéster está ligada, principalmente, à sua massa molar, índice de acidez (IA), quantidade de grupos éster formados e densidade das ligações cruzadas (SILVA, 2008).

O ácido isoftálico é um reagente para a síntese de resinas de poliéster isoftálicas; confere resistência química, no entanto é menos reativo que os anidridos referidos, ao que requer mais tempo para se fazer reagir com os glicóis (SILVA, 2008).

O polímero de cadeia linear formado é dissolvido em um monômero polimerizável, geralmente o estireno, e o material resultante é a chamada resina poliéster. A resina pode ser curada, formando um polímero termofixo reticulado, através de um processo de poliadição, com o auxílio de um iniciador. Às vezes, o iniciador é ativado por um composto chamado ativador. É usual (embora incorreto) chamar o iniciador usado para curar a resina de “catalisador”. Similarmente, o ativador é chamado de “acelerador” (PEDROSO, 2002).

A cura da resina de poliéster ocorre através de interligações de monômero com poliéster. A cura se processa com o surgimento dos radicais livres, que são átomos ou grupos de átomos, com elétron desemparelhado, estes radicais são muito reativos (RIBEIRO, 2005). A Figura 2.4 apresenta o processo de síntese da resina poliéster.

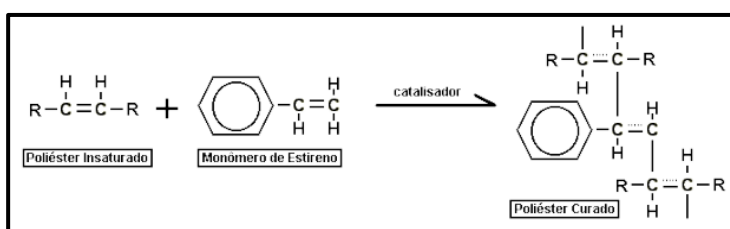


Figura 2.4 - Processo de síntese da resina poliéster.
Fonte: RODRIGUES (2008).

Dentre as matrizes poliméricas utilizadas para a produção de compósitos, a matriz de poliéster tem se destacado devido as suas propriedades mecânicas, baixa viscosidade, alta molhabilidade e baixo custo. Poliésteres insaturados são extremamente versáteis em suas propriedades e aplicações e tem sido um popular termofixo usado como matriz polimérica em compósitos (RODRIGUES, 2008).

2.4. COMPÓSITOS

Pode-se considerar, de maneira geral, um compósito como sendo um material multifásico que exiba uma proporção significativa das propriedades das fases que o constituem de tal forma que é obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2002).

O aglomerante do material é chamado de matriz, que tem por função envolver os componentes, ou seja, compõe a forma do material. A matriz atua ainda como uma base que confere ductilidade e mantém a estrutura coesa e que, em resumo, contribui para que o conjunto se caracterize por boas condições de fabricação e a necessária flexibilidade. Os componentes inseridos na matriz atuam geralmente como substâncias de reforço ou enchimento da matriz, sendo as propriedades dos compósitos dependentes da natureza e das propriedades do reforço e da matriz (COSTA, 2012).

O interesse dos materiais compósitos está ligado a dois fatores: econômico e performance. O fator econômico vem do fato do material compósito ser muito mais leve que os materiais metálicos, o que implica numa economia de combustível e conseqüentemente, num aumento de carga útil (aeronáutica e aeroespacial). A redução na massa total do produto pode chegar a 30 % ou mais, em função da aplicação dada ao material compósito. O custo de fabricação de algumas peças em material compósito pode ser também sensivelmente menor se comparado com os materiais metálicos. O fator performance está ligado a procura por melhor desempenho de componentes estruturais, sobretudo no que diz respeito às características mecânicas (resistência a ruptura, resistência à ambientes agressivos, etc.). O caráter anisotrópico dos materiais compósito é o fator primordial para a obtenção das propriedades mecânicas requeridas pelo componente. A leveza juntamente com as excelentes características mecânicas faz com que os materiais compósito sejam cada vez mais utilizados dentro de atividades esportivas (PEREIRA, 2005).

Em função dos tipos e arranjos dos reforços existentes, os compósitos podem ser classificados em duas grandes áreas: os de reforço particulado e os de reforço fibroso (RODRIGUES, 2008). A Figura 2.5 mostra o esquema de classificação dos compósitos.

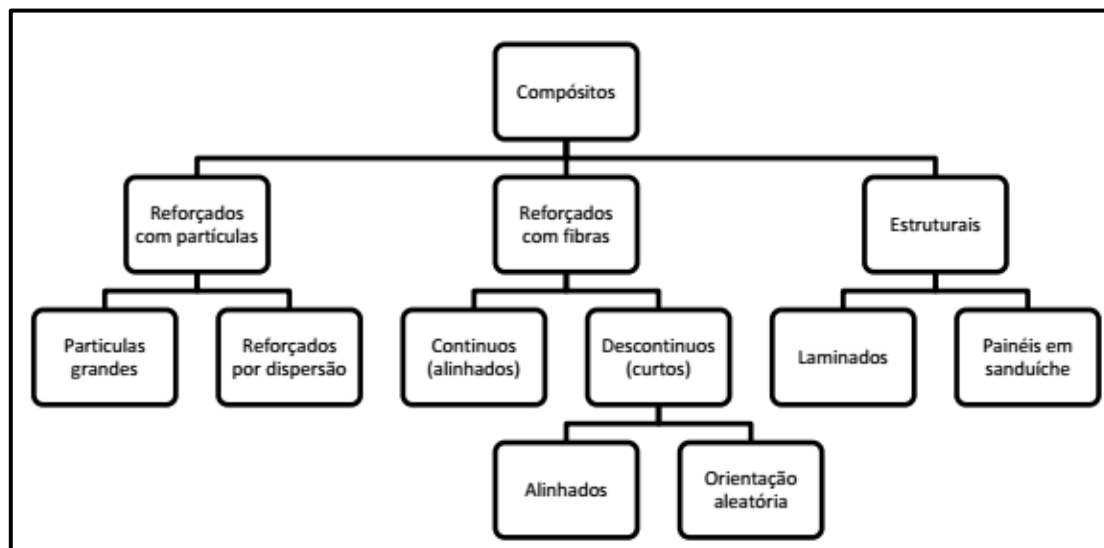


Figura 2.5 - Classificação dos compósitos.

Fonte: HULL (1998).

2.4.1. Compósitos poliméricos

Os compósitos com matriz polimérica (PMC- polymer - matrix composites) são constituídos de uma resina polimérica como a fase matriz, com fibras como meio de reforço. Esses materiais vem sendo utilizados na maior diversidade de aplicações dos compósitos, assim como nas maiores quantidades, como consequências das suas propriedades à temperatura ambiente, da facilidade de fabricação e do seu custo (CALLISTER, 2013).

Os materiais poliméricos são divididos em duas classes, de acordo com Costa (2012), são elas continua polimérica (plástico) reforçada por uma fase descontinua fibrosa e que se agregam físico-quimicamente após um processo de polimerização (curado), ou seja, são também denominados de plásticos reforçados com fibras.

Muitos trabalhos acadêmicos vem sendo realizados referente a aplicação de carga de enchimento em matrizes poliméricas, dentre eles podemos citar os trabalhos de SILVA (2015) que analisou a influência da adição de resíduos de mármore e granito como carga em um compósito reforçado com fibra de coco e concluiu que o material apresentou resistência a tração decrescente conforme o aumento do percentual de carga, porém, dentro da faixa de materiais da construção civil como painéis de gesso e

aglomerados e aquele de COSTA *et al.* (2014) que mostrou as características mecânicas e microestruturais de compósitos laminados de fibra de malva, utilizando lama vermelha como carga.

2.4.2. Compósitos reforçados com fibras vegetais

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais não é recente e as primeiras patentes datam da década de 60. A partir da década de 90, uma visão mais realística e ecológica do processo industrial fez ressurgir o interesse em materiais renováveis, tais como as fibras e os óleos vegetais, principalmente na indústria automotiva. Associado aos aspectos ecológicos, há também os aspectos tecnológicos e as vantagens econômicas no uso destes materiais. A questão social é também um forte argumento para o incentivo da produção destes compósitos, uma vez que estes materiais são geralmente oriundos de regiões economicamente pobres (SILVA, 2003).

Os compósitos reforçados com fibras podem ser divididos em dois grupos segundo LEVY NETO e PARDINI (2006) e são eles fibras contínuas e fibras curtas. BEDIN (2014) cita que os processos de mistura e de formulação dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras vegetais são principalmente realizados em duas etapas. A primeira etapa é feita a incorporação das fibras à matriz. Já na segunda etapa, o compósito é moldado na forma do produto final.

2.4.3. Compósitos com carga particulada

A utilização de carga em compósitos tem como objetivo reduzir a quantidade de resina na matriz, o que reduz o custo de produção e oferece uma destinação sustentável a determinados materiais empregados como carga como explica Silva (2006) que as cargas particuladas podem ser definidas como materiais sólidos, que são adicionados aos polímeros em quantidades suficientes para reduzir custos e/ou alterar as duas propriedades físicas e/ou mecânicas

Aspectos positivos podem ser considerados ao agregar o material a matriz polimérica, Passatore (2013) cita que a utilização de determinadas cargas provoca no polímero um aumento ou melhoria de sua estabilidade térmica e dimensional, escoamento, resistência mecânica e química, superfície do produto final, propriedades elétricas e processabilidade. Geralmente, são incorporadas as resinas fenólicas e amínicas, cargas como madeira, fibras curtas de celulose e mica pulverizada, enquanto que fibras de grafite, boro e aramida são empregadas como reforço para resina epoxi.

Um dos exemplos mais conhecidos de cargas são as fibras de vidro tratadas com alquil-silanos que reforçam as resinas de poliéster.

Alguns fatores negativos estão presentes na utilização de carga em compósitos como menciona Rabello (2007) que cargas geralmente reduzem a resistência ao impacto e muitas vezes contribuem para uma maior propagação de trincas, diminuindo a resistência à fadiga. Por outro lado, a presença de cargas melhora a estabilidade dimensional e diminui a retração no resfriamento ou na cura.

2.4.4. Processos de fabricação de compósitos

Os processos de fabricação de peças, componentes e estruturas de material compósito podem ser divididos em processos de molde aberto e processos de molde fechado. A distinção está na qualidade do acabamento que se consegue na superfície do elemento fabricado e na qualidade dos moldes necessários para a conformação da peça. Processos de que utilizam molde aberto propiciam um acabamento liso e uniforme em apenas uma das faces da peça sendo necessário apenas um molde, enquanto que, nos processos que empregam molde fechado, consegue-se acabamento liso em ambas as faces e é necessário um par de moldes, chamadas de macho e fêmea ou moldes de encaixe. São exemplos de processos que utilizam molde aberto a laminação por contato (*hand lay-up*), a laminação por projeção (*spray up*) e o enrolamento filamental (filamento *winding*). Os processos mais empregados de molde fechado são a moldagem por transferência de resina (RTM/RTM *light*) e a moldagem por prensagem (MARINUCCI, 2011).

A Tabela 2.2 apresenta um comparativo entre os métodos mais usados para a fabricação de compósitos em função de variáveis como habilidade necessária para fabricação, produtividade, fração volumétrica de fibra (V_f) custo, arranjo do reforço e tipos de forma utilizada.

Tabela 2.2 - Comparação de diferentes processos de fabricação de compósitos.

Processo	Habilidade necessária	Produtividade	V_f	Custo	Arranjo reforço
Hand lay-up	Baixa	Baixa	Média	Baixo	2D
Autoclave	Alta	Média	Alta	Médio a alto	2D
RTM/VARTM	Média	Alta	Média a alta	Baixo	2D, 3D

Fonte: NAIK *et al.* (2013).

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Para a fabricação das placas fez-se uso dos seguintes materiais: resina poliéster insaturado isoftálica, iniciador peróxido de etil-metil cetona, acelerador de cobalto e resíduo de mármore e granito.

3.1.1. Resina poliéster

A resina de poliéster insaturado isoftálica AM 910, assim como o acelerador de cobalto e o iniciador MEK-P (Butanox M-50) (Figura 3.1), foram produzidos pela empresa AEROJET Brasileira de Fiberglass Ltda.



Figura 3.1 - Resina de poliéster insaturado isoftálica (a); Iniciador peróxido de etil-metil cetona (MEK-P) (b); Acelerador de cobalto (c).

A densidade da resina poliéster insaturado de acordo com Oliveira (2013) possui valor médio de $1,14 \text{ g/cm}^3$.

3.1.2. Resíduo de mármore e granito

O resíduo de mármore e granito foi disponibilizado pela empresa Brilasa S.A., o mesmo foi recolhido do lago de deposição da empresa por pesquisadores da Universidade Federal do Pará.

Após a coleta do material foi realizada a secagem em estufa por aproximadamente 24 horas. Em seguida, o material passou pelo processo de cominuição e peneiramento manual em peneira de 100 mesh da série Tyler. A Figura 3.2 apresenta o material utilizado após o beneficiamento.

A densidade do resíduo de mármore e granito, obtida através de experimentos em laboratório é de $2,86 \text{ g/cm}^3$.



Figura 3.2 - Resíduo de mármore e granito obtido após o beneficiamento.

3.1.3. Fibra de coco

A fibra de coco (Figura 3.3) foi disponibilizada pela empresa Sococo®. O material foi cortado em uma faixa de comprimento de 5-10cm, cortado de forma manual utilizando tesoura e régua e organizado em forma de manta para ser acrescentada ao compósito.



Figura 3.3 - Fibra de coco.

3.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.2.1. Preparação das mantas de fibra de coco

A fibra de coco cortada foi distribuída de maneira uniforme no molde metálico e prensada para melhor compactação. As mantas de fibra de coco foram preparadas utilizando fibra sem e com tratamento alcalino, sendo este realizado deixando-as imersa

em solução com 5%(m/v) de NaOH pelo tempo de 24 horas, após esse tempo, a fibra foi secada em estufa a 70°C. Foi realizada a análise a superfície da fibra por meio de microscopia eletrônica de varredura.

3.2.2. Confeção das placas retangulares

Para a produção dos corpos de prova, foram confeccionadas placas retangulares medindo 320mm x 17,2mm x 2mm de poliéster insaturado, moldadas em uma forma metálica, conforme a Figura 3.4, utilizando resíduo de mármore e granito (RMG) como carga.



Figura 3.4 - Forma retangular utilizada para a fabricação do compósito.

Foram realizados cálculos, com base no volume das placas, para determinar a quantidade necessária dos materiais na mistura. Dessa forma, foram utilizados em todos os experimentos 1,5% (v/v) de MEK-P e 0,5% (v/v) de MET com base em procedimentos experimentais realizados em placas testes. As placas foram fabricadas em quatro grupos, o primeiro contendo a matriz plena, o segundo de compósitos com resina poliéster e resíduo de mármore e granito, o terceiro contendo resina poliéster e fibra de coco e o quarto com material híbrido de resina poliéster, resíduo de mármore e granito e fibra de coco. Utilizou-se, para bases de cálculo, 5% de erro para os valores dos materiais, levando-se em conta o material perdido em todo o processo de confecção. Na Tabela 3.1 seguem os valores utilizados em cada placa.

Tabela 3.1 - Valores de cada material utilizado na confecção das placas.

Resíduo de mármore e granito (%)	Fibra de coco (%)	Resina Poliéster insaturado (g)	Met (ml)	MEK-P (ml)	Resíduo de mármore e granito (g)	Fibra de coco (g)
0	0	192,80	0,90	2,60	0,00	0,00
10	0	173,50	0,80	2,30	49,00	0,00
20	0	154,20	0,70	2,10	98,00	0,00
30	0	134,90	0,60	1,80	147,00	0,00
40	0	115,70	0,50	1,50	196,00	0,00
0	1	192,80	0,90	2,60	0,00	1,86
0	2	192,80	0,90	2,60	0,00	3,80
0	3	192,80	0,90	2,60	0,00	5,70
10	1	173,50	0,80	2,30	49,00	2,15
10	2	173,50	0,80	2,30	49,00	4,36
20	1	154,20	0,70	2,10	98,00	2,37
20	2	154,20	0,70	2,10	98,00	4,80
30	1	134,90	0,60	1,80	147,00	2,65
30	2	134,90	0,60	1,80	147,00	5,35

Após a pesagem, os materiais foram misturados em um béquer, com o auxílio de um bastão de vidro, em seguida homogeneizados e despejados na forma retangular, que previamente foi umidificada com o material desmoldante para facilitar a retirada do compósito após o período de cura (Figura 3.5). Logo após a mistura atingir o ponto de gel, foi inserido um conjunto de pesos de 3-4ton na prensa Marcon MPH 15 do material durante 15 minutos para melhorar a distribuição de carga e reduzir poros, em seguida o material foi retirado da forma. O esquema de confecção dos compósitos é apresentado conforme a Figura 3.6.

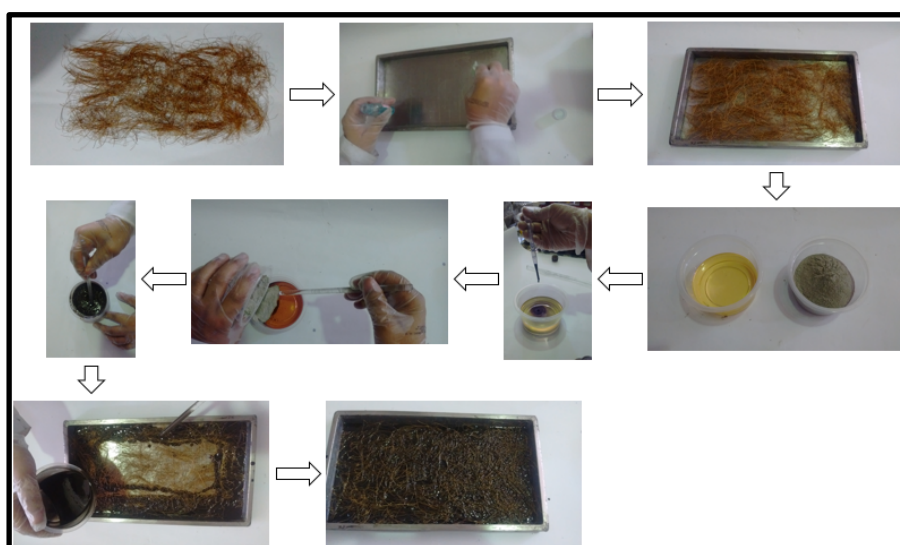


Figura 3.5 - Preparação do compósito com fibra de coco e resíduo de mármore e granito.

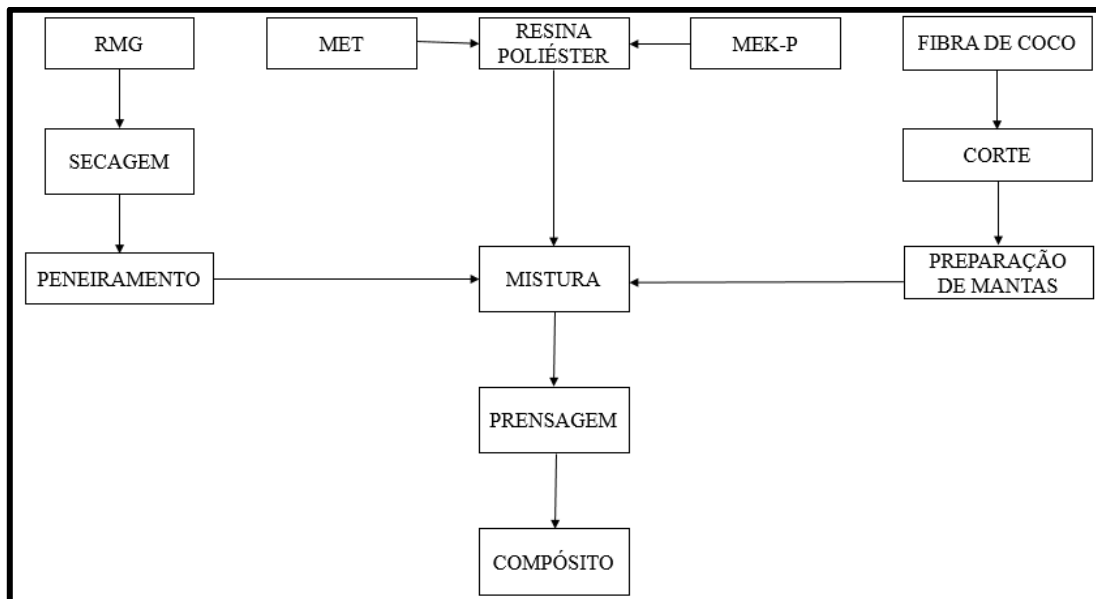


Figura 3.6 - Esquema de confecção dos compósitos.

3.2.3. Difração de raio-X

O ensaio de difração de raio X do resíduo de mármore e granito (RMG) foram realizados no laboratório de caracterização de mineral do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

O equipamento utilizado para a realização da análise foi o difratômetro de raio X modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical (Figura 3.7), com o software X'Pert Data Collector, e o tratamento dos dados com o software X'Pert HighScore.



Figura 3.7 - Difratômetro de raio-X, modelo X'PERT PRO MPD (PW3040/60).
Fonte: SILVA (2015).

3.2.4. Microscopia eletrônica de varredura

As análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LabMev) da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará no equipamento de bancada da marca HITAGUI (modelo Tm 3000) (Figura 3.8).

Foram coletadas amostras da região de fratura dos corpos de prova dos ensaios de tração e as imagens foram capturadas por elétrons secundários de um filamento de tungstênio de 15 kV.



Figura 3.8 - Equipamento para MEV de bancada da marca HITAGUI (modelo TM 3000).

3.2.5. Massa específica aparente e absorção de água

Os ensaios descritos nesse tópico foram realizados no Laboratório de análise de materiais do Laboratório de Engenharia Química (LEQ) da Universidade federal do Pará. Para a realização dos testes de massa específica aparente (MEA) e absorção de água (AA) foram preparadas seis amostras de cada mistura das placas retangulares e os testes foram obtidos após a obtenção dos valores de massa seca, massa úmida e massa imersa. As amostras foram deixadas por um período de 24 horas para a coleta dos valores de massa úmida e massa imersa.

Após cada pesagem fez-se uso das Eqs. (3.1) e (3.2) para o cálculo das duas propriedades em questão.

$$MEA = \frac{m_s}{(m_u - m_i)} \quad (3.1)$$

$$AA = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \cdot 100(\%) \quad (3.2)$$

Sendo: m_s = Massa seca; m_u = Massa úmida; m_i = Massa imersa.

3.2.6. Ensaio de tração

O ensaio de tração foi realizado no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará – Campus Tucuruí.

Para a realização dos ensaios de tração, as placas retangulares foram cortadas com uma máquina de disco de corte, de acordo com a norma ASTM D3039, com as dimensões de 310mm x 25mm, no total foram preparados seis corpos de prova de cada compósito.

O teste foi realizado em um equipamento de ensaio universal WDW-100 E serial nº 146 EMIC, ano de fabricação: 2006, com célula de carga de 3000 kgf, utilizou-se a velocidade de deslocamento de 5,00 mm/min, temperatura de 26°C e umidade relativa do ar de 50%.

A análise de fratura do material no ensaio de tração foi realizada no Laboratório de Microscopia de Varredura Eletrônica da Universidade Federal do Pará no equipamento de bancada da marca HITAGUI (modelo Tm 3000).

Foram coletadas seis amostras da região da fratura dos compósitos com maior e menor valor de tensão máxima de cada grupo de compósitos dos ensaios de tração e as imagens foram capturadas por elétrons secundários de um filamento de tungstênio de 15 kV com aumento de 2 mm e ampliação de 30 vezes.

3.2.7. Teste de flamabilidade UL94

O teste de flamabilidade foi realizado na usina de materiais do laboratório de Engenharia Química da Universidade Federal do Pará utilizando um aparato de estrutura metálica (Figura 3.9), este montado de acordo com as especificações da norma UL94.



Figura 3.9 - Aparato utilizado para teste de flamabilidade.

Foram utilizados cinco corpos de prova para a realização dos ensaios na vertical, onde os mesmos foram pré condicionados em estufa pelo tempo de 168 horas a temperatura de 70 °C e colocados em dessecador durante 4 horas antes da realização do ensaio.

Após a realização dos ensaios e a obtenção dos tempos de queima os corpos de prova foram avaliados de acordo com os critérios V0, V1 e V2 (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Critérios de avaliação teste de flamabilidade vertical da norma UL94.

Critérios	V0	V1	V2
Valores Individuais de t1 e t2	≤10s	≤30s	≤30s
Somatórios de (t1+t2)	≤50s	≤250s	≤250s
Valores Individuais de t3	≤30s	≤60s	≤60s
Queima ou chama ou incandescência até o prendedor	Não	não	Não
Queima do algodão por gotas ou fagulhas emitida	Não	não	Sim

Para a realização do teste de flamabilidade na horizontal foram utilizados 3 corpos de prova, sendo estes pré condicionados em estufa pelo tempo de 168 horas a temperatura de 70 °C e colocados em dessecador durante 4 horas antes da realização do ensaio.

A variáveis observadas no ensaio foram o comprimento do corpo de prova danificado pela chama e o tempo em segundos que a chama percorreu o comprimento danificado e em seguida aplicados na Eq. (3.3) para a obtenção da velocidade linear de combustão em mm/min.

$$V = \frac{60L}{T} \quad (3.3)$$

Após a realização do ensaio os critérios foram avaliados de acordo com a Norma UL 94 que são:

- Não ter uma velocidade de combustão superior a 40 mm/min sobre um comprimento de 75 mm e espessura de 3,0-13 mm;
- Não ter uma velocidade de combustão superior a 75 mm/min sobre uma espessura de 75 mm para os corpos de prova com espessura menor que 3,0 mm;
- O fogo cessar antes da marca de referência de 100 mm.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. SUPERFÍCIE DA FIBRA DE COCO SEM E COM TRATAMENTO ALCALINO

A fibra de coco sem tratamento (*in natura*) apresentou uma camada superficial com ceras e extrativos, além dos constituintes amorfos como a lignina e a hemicelulose (Figura 4.1), constatado também por Benini, 2011. Essas impurezas prejudicam a interação fibra/matriz reduzindo a área superficial de contato entre elas.

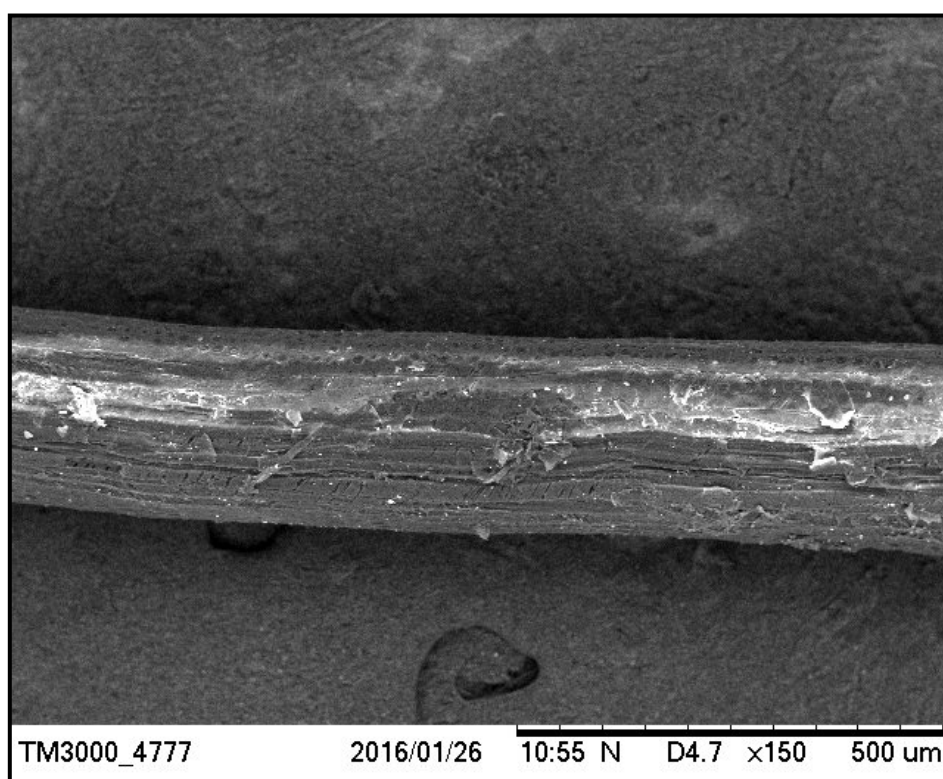


Figura 4.1 - Superfície da fibra de coco sem tratamento com aumento de 150x.

Na Micrografia eletrônica de varredura da fibra de coco com tratamento alcalino em solução de 5% de NaOH, ilustrada na Figura 4.2 é possível observar a presença de poros ou orifícios conhecidos como “pits”, responsáveis por transportar água e alimento nas plantas e Segundo Benini, 2011 a presença dos “pits” ajuda na ancoragem mecânica da fibra com a matriz polimérica. Estes pits Estão presentes na maioria das fibras naturais, porém, permanecem cobertos pela camada superficial das fibras indicado pelas setas amarelas, presentes em grande parte da extensão da fibra provavelmente devido ao descolamento das partículas globulares presentes na superfície da fibra, estes poros ou

orifícios podem fazer com que aumente área superficial de contato com a matriz polimérica, melhorando assim a adesão fibra/matriz.

Esta área superficial de contato pode ter se tornado ainda maior pela evidência de áreas degradadas na fibra conforme as setas vermelhas na Figura 4.2 (a) e (b), onde ainda não é possível verificar as microfibrilas, mas também contribui para a melhor impregnação da matriz na fibra.

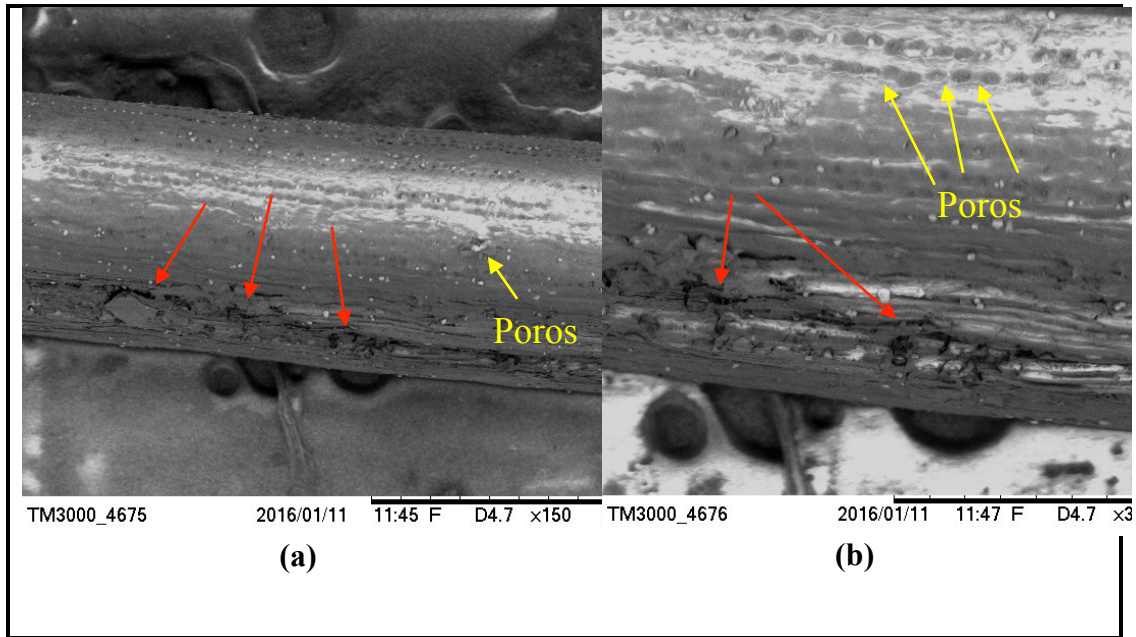


Figura 4.2 - Superfície da fibra de coco com tratamento (a) com aumento de 150 vezes (b) com aumento de 300 vezes.

4.2. PLACAS RETANGULARES

Após o processo de confecção foram obtidas placas retangulares sem defeitos de fabricação, não houve dificuldade de homogeneizar a resina com o resíduo de mármore e granito e as mesmas apresentaram boa aparência para todas os compósitos. A Figura 4.3 apresenta as placas contendo resina poliéster e mármore e granito.

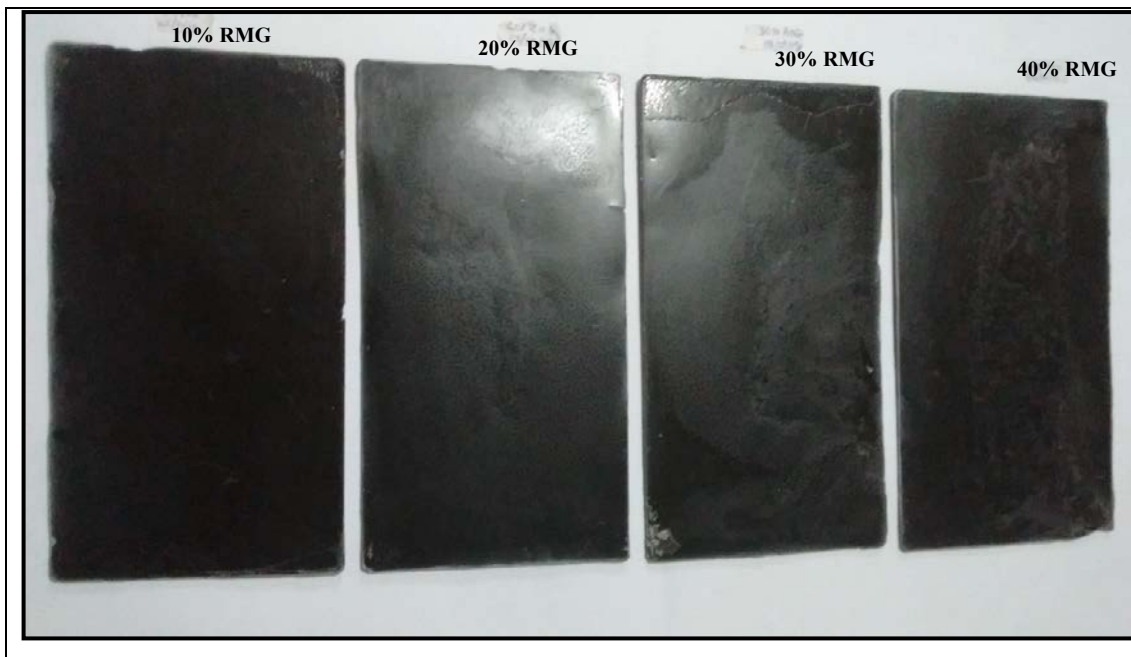


Figura 4.3 - Placas retangulares contendo os compostos com resíduo de mármore e granito.

A Figura 4.4 apresenta as placas com a matriz plena e dos compostos com as frações mássicas de 1%, 2% e 3% de fibra de coco.

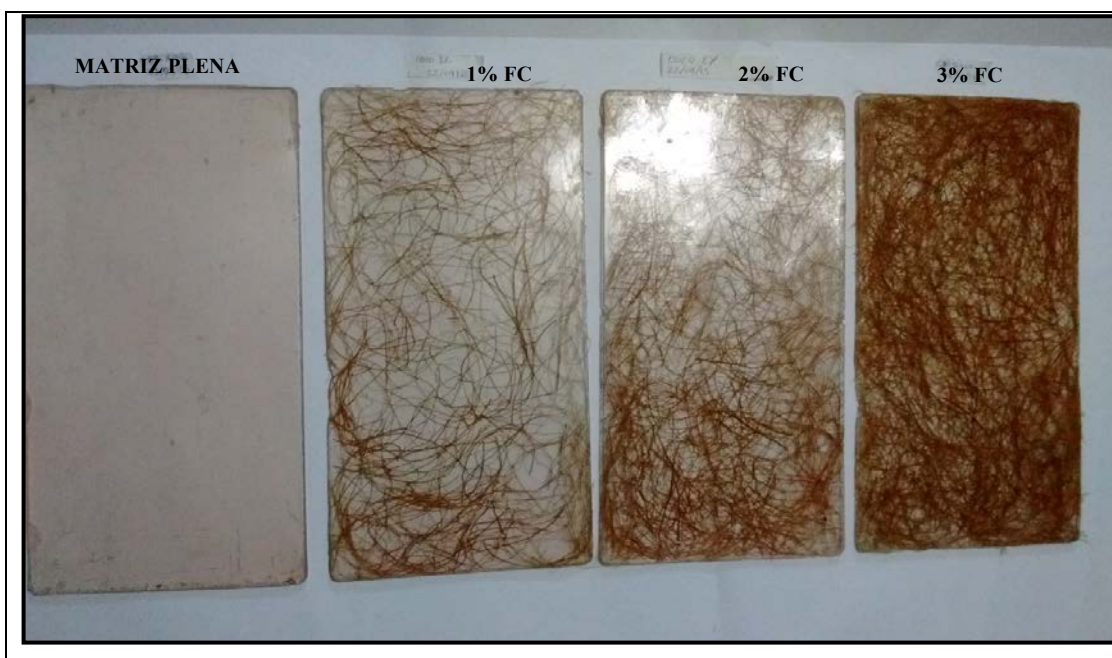


Figura 4.4 - Placas retangulares contendo matriz plena e compostos com fibra de coco.

A Figura 4.5 apresenta as placas com os compostos híbridos contendo resíduo de mármore e granito variando de 10% à 30% e fibra de coco variando em 1% e 2%.



Figura 4.5 - Placas retangulares do compósitos híbridos com resíduo e mármore e granito e 1% fibra de coco.

4.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS X DO RESÍDUO DE MÁRMORE E GRANITO

A Figura 4.6 apresenta os resultados obtidos na análise de raios X do resíduo de mármore e granito.

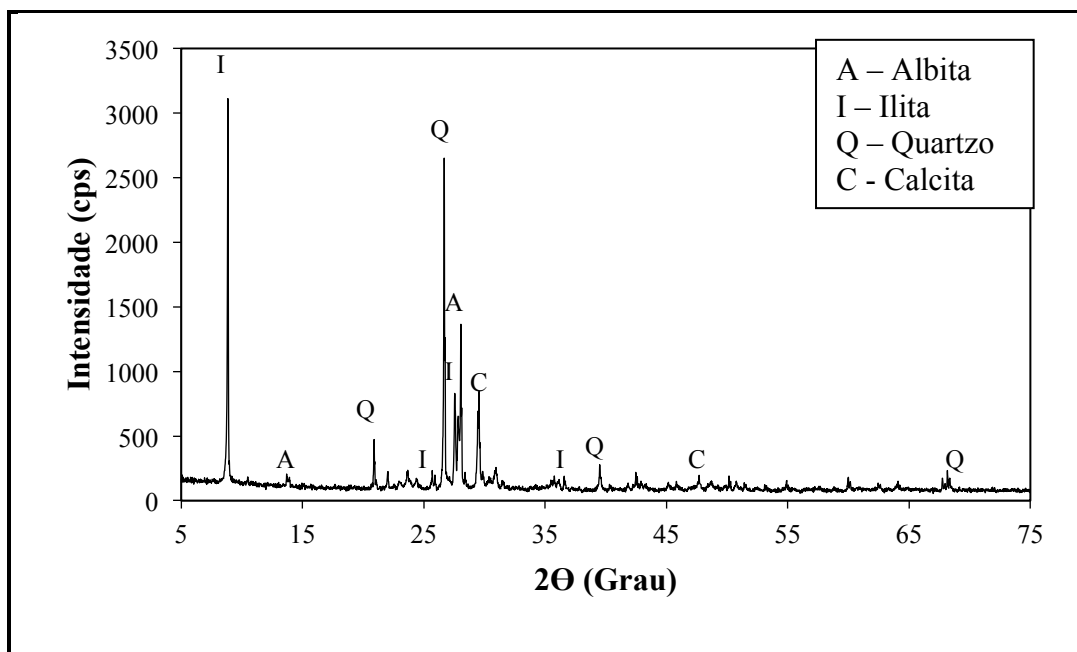


Figura 4.6 - Difração de raios X do Resíduo de mármore e granito.

Fazendo a análise dos resultados da Figura 4.6 que apresenta a composição mineralógica da amostra e comprova que a mesma se encontra na forma cristalina e pode-se verificar picos intensos de ilita $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,H_2O]$ e

quartzo (SiO_2) onde mostram a presença de granito no resíduo com picos menores de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$). Alguns picos de calcita (CaCO_3) estão presentes na difração de raio x, que comprova a presença de mármore.

4.4. MASSA ESPECÍFICA APARENTE E ABSORÇÃO DE ÁGUA

4.4.1. Compósitos com fibra de coco

A Tabela 4.1 apresenta os valores médios da massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com fibra de coco com e sem tratamento alcalino com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4.1 - Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com fibra de coco.

Material	Tratamento alcalino	Massa específica aparente (g/cm^3)	Absorção de água (%)
Matriz plena		1,197±0,006	0,417±0,100
1% Fibra de coco	Não	1,194±0,004	0,693±0,092
2% Fibra de coco	Não	1,188±0,005	0,795±0,095
3% Fibra de coco	Não	1,177±0,005	1,393±0,195
1% Fibra de coco	Sim	1,187±0,007	0,803±0,099
2% Fibra de coco	Sim	1,183±0,018	0,777±0,122
3% Fibra de coco	Sim	1,185±0,002	1,022±0,124

A massa específica aparente apresentou valores menores para os compósitos com fibra de coco comparados a matriz plena. A presença da fibra pode ter reduzido a propriedade em questão devido ao aumento de cavidade no compósito, devido as mantas de fibra de coco possuírem um volume livre muito grande, que pode ser explicado pelas fibras naturais possuírem muitos vazios no interior delas. O comportamento se repete com os compósitos com até 2% de fibra tratada, no compósito com 3% de fibra tratada o valor da massa específica aparente cresce em relação ao mesmo percentual sem tratamento, sendo que este ainda permanece inferior ao valor da matriz plena como mostra a Figura 4.7.

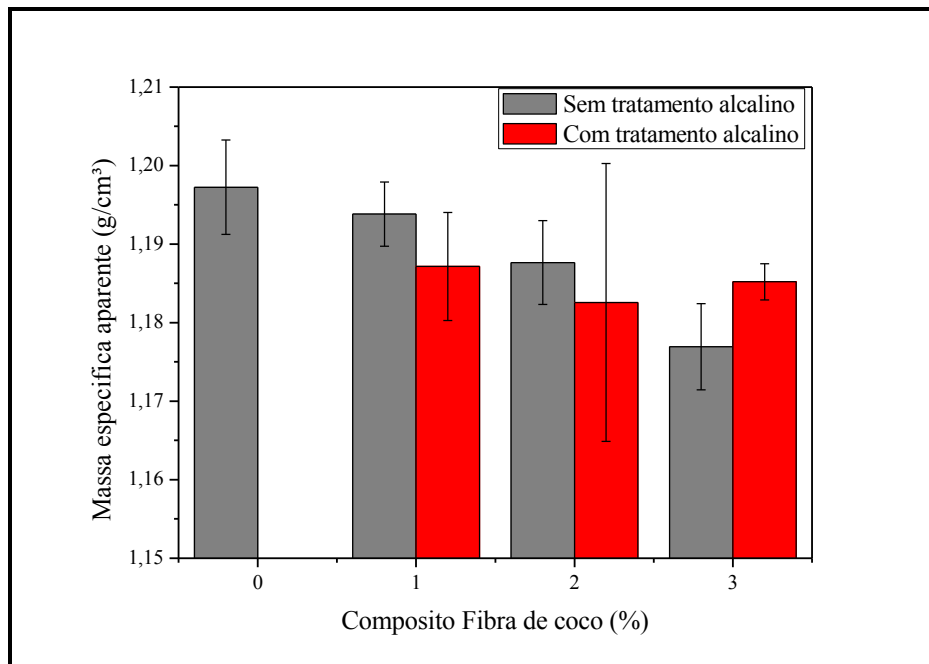


Figura 4.7 - Massa específica aparente dos compósitos com fibra de coco.

O acréscimo de fibra a matriz de resina poliéster aumentou a absorção de água do material alcançando seu valor máximo para o compósito com 3% de fibra de coco como pode ser observado na Figura 4.8, valores estes superiores a da matriz plena, fato este que está relacionado ao aumento de poros no compósito a medida que aumenta o percentual de fibra e a baixa interação da fibra a matriz e a natureza hidrofílica da fibra de coco, tendo grande facilidade em absorver água.

Com a utilização da fibra com tratamento alcalino os valores aumentaram para o compósito com 1% de fibra de coco e o crescimento de absorção de água foi suavizado para os compósitos com 2% e 3% de fibra de coco, sendo maior que o mesmo percentual sem tratamento, este tipo de comportamento foi citado por Liz *et al* (2007) que explicou que os tratamentos químicos podem aumentar a adesão interfacial e reduzir a absorção de água, isto ocorre devido ao aumento da rugosidade da superfície da fibra e aumento de poros superficiais que aumenta a superfície de contato da resina com a fibra.

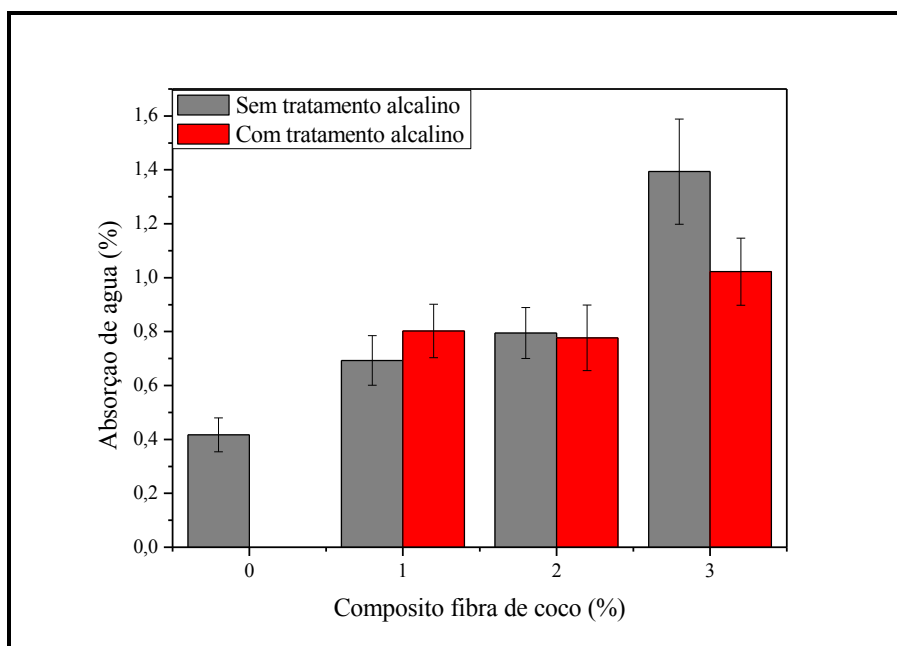


Figura 4.8 - Absorção de água dos compósitos com fibra de coco.

4.4.2. Compósitos com resíduo de mármore e granito

A Tabela 4.2 apresenta os valores médios da massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4.2 - Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

Material	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Matriz plena	1,197±0,006	0,417±0,063
10% resíduo de mármore e granito	1,371±0,009	0,356±0,084
20% resíduo de mármore e granito	1,515±0,006	0,269±0,066
30% resíduo de mármore e granito	1,710±0,008	0,277±0,041
40% resíduo de mármore e granito	1,815±0,020	0,511±0,154

A adição da carga de resíduo de mármore e granito aumentou a massa específica aparente dos compósitos como pode ser observado na Figura 4.9. Todos os compósitos com a carga foram superiores a matriz plena, atingindo seu valor máximo para o compósito com 40% de resíduo de mármore e granito, sendo este 34,05% superior ao valor alcançado na matriz plena, isso se deve ao fato da densidade do resíduo de mármore e granito (2,86 g/cm³) ser superior a da resina poliéster (1,14 g/cm³).

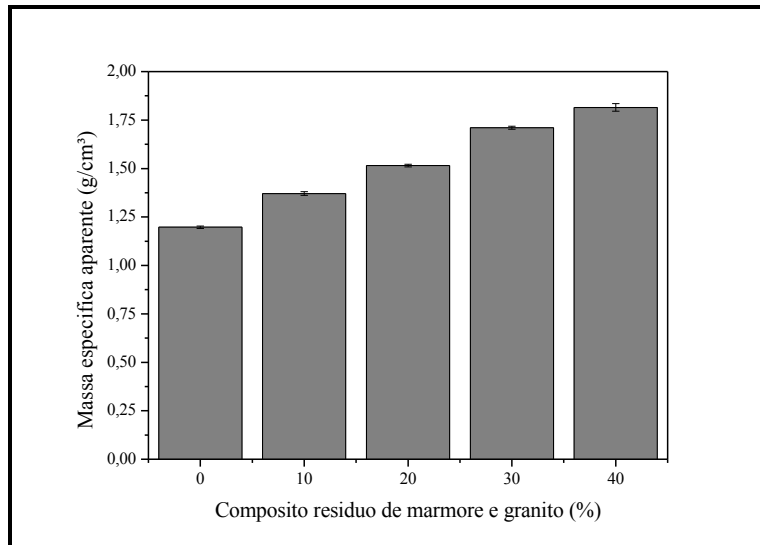


Figura 4.9 - Massa específica aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

Os compósitos com até 30% de resíduo de mármore e granito apresentaram valores inferiores a da matriz plena como mostra a Figura 4.10 alcançando seu valor mínimo para o compósito com 20% de carga, isto pode estar ligado ao compósito com a matriz plena, mesmo após a prensagem, apresentar bolhas de ar e poros e conforme o acréscimo de carga, as partículas do resíduo foram se agrupando nos espaços vazios da matriz, reduzindo assim a possibilidade de absorção de água. Outro fator que pode ter interferido é de o resíduo de mármore e granito não possuir propriedades hidrofílicas impedindo assim, a absorção de água do compósito. No compósito com 40% de resíduo de mármore e granito é possível que a quantidade de resina não tenha sido o suficiente para impregnar toda a massa de resíduo, gerando um compósito extremamente poroso e portanto com maior capacidade de absorver água.

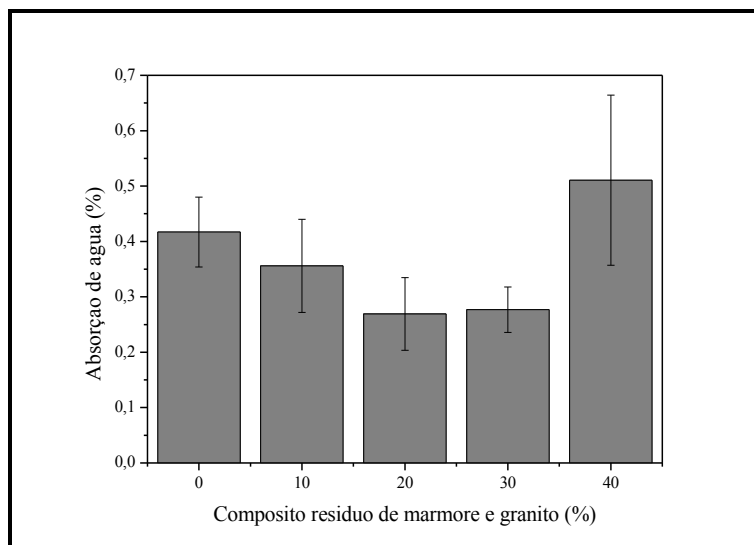


Figura 4.10 - Absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

4.3.3. Compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco

A Tabela 4.3 apresenta os resultados de massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4.3 - Massa específica aparente e absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.

Material	Tratamento alcalino	Massa	
		específica aparente (g/cm ³)	Absorção de água (%)
Matriz plena		1,197±0,006	0,417±0,063
10% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	1,335±0,011	0,698±0,092
10% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	1,322±0,008	1,196±0,097
20% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	1,500±0,009	0,526±0,086
20% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	1,477±0,009	0,902±0,093
30% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	1,644±0,006	0,627±0,083
30% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	1,628±0,010	1,046±0,208
10% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	1,317±0,062	0,501±0,077
10% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	1,324±0,012	0,909±0,014
20% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	1,499±0,013	0,578±0,143
20% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	1,496±0,007	0,778±0,077
30% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	1,672±0,009	0,803±0,091
30% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	1,655±0,010	0,764±0,136

Os compósitos híbridos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco apresentaram crescimento da massa específica aparente conforme o aumento do percentual de carga, alcançando seus valores máximos para o grupo de compósitos com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% e 2% de fibra de coco como ilustra a Figura 4.11. Comportamento esperado, conforme a análise dos resultados dos compósitos com resíduo de mármore e granito e resina poliéster, que deixou claro o fator do crescimento da massa específica conforme o aumento da carga estar relacionado a densidade dos materiais.

A variação do percentual da fibra de coco agiu de forma a reduzir a massa específica aparente no menor percentual (1%) comparada ao maior percentual (2%) em todos os compósitos, comportamento este, similar ao dos compósitos com fibra de coco e resina poliéster que também apresentaram decréscimo da massa específica aparente conforme o aumento do percentual de fibra de coco.

O tratamento alcalino teve pouca influência na massa específica aparente, comparando os compósitos híbridos com fibra tratada com os com fibra in natura, devido ao tratamento de 24 horas com hidróxido de sódio não ser agressivo o suficiente ao ponto dele causar um desgaste da fibra e isso influenciar na variação da massa específica aparente.

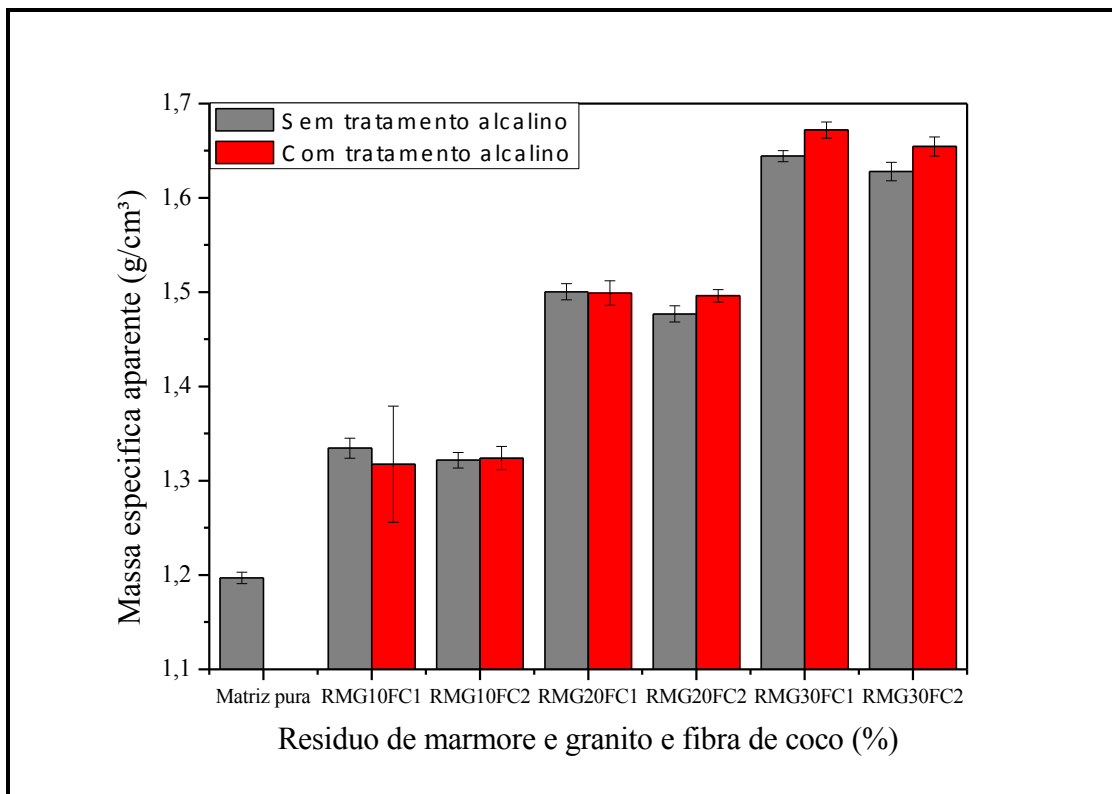


Figura 4.11 - Massa específica aparente dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.

Os compósitos híbridos apresentaram em todos os casos valores de absorção de água superiores ao da matriz plena como mostra a Figura 4.12, sendo a presença do resíduo de mármore e granito junto a fibra de coco no compósito causadores de poros e as propriedades hidrofílicas da fibra de coco, o processo artesanal de fabricação, a presença de dois materiais com propriedades distintas e a fraca interação entre eles pode ter facilitado a formação de aglomerados e poros contribuíram para o aumento da absorção de água comparados a matriz plena. É possível observar também que conforme o aumento de fibra de coco ocorre o aumento da absorção de água, tanto para os compósitos com fibra sem tratamento como para os com fibra com tratamento, fato este que está atrelado ao aumento de poros com o aumento da concentração de fibra na matriz.

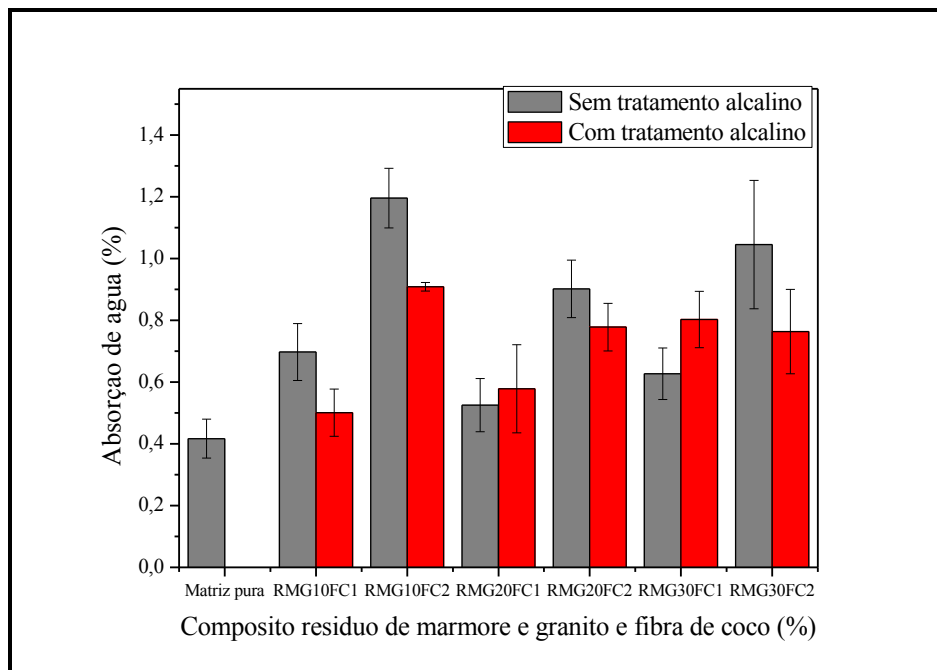


Figura 4.12 - Absorção de água dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.

4.5. ENSAIO DE TRAÇÃO

4.5.1. Compósitos com fibra de coco

A Tabela 4.4 apresenta os resultados de tensão máxima para os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino e sem tratamento alcalino seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4.4 - Tensão máxima dos compósitos com fibra de coco.

Material	Tratamento alcalino	Tensão máxima (MPa)
Matriz plena	-	31,94±7,24
1% Fibra de coco	Não	12,44±3,22
2% Fibra de coco	Não	11,96±4,36
3% Fibra de coco	Não	9,45±1,87
1% Fibra de coco	Sim	14,39±3,07
2% Fibra de coco	Sim	11,32±3,44
3% Fibra de coco	Sim	11,66±1,92

A Figura 4.13 ilustra as curvas força versus alongamento da matriz plena e dos compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino e sem tratamento alcalino. É observado no gráfico que em nenhum dos casos é possível observar deformação plástica, deixando clara a fragilidade do material. Houve uma instabilidade no início do ensaio de todos os corpos de prova devido a acomodação destes na garra do equipamento.

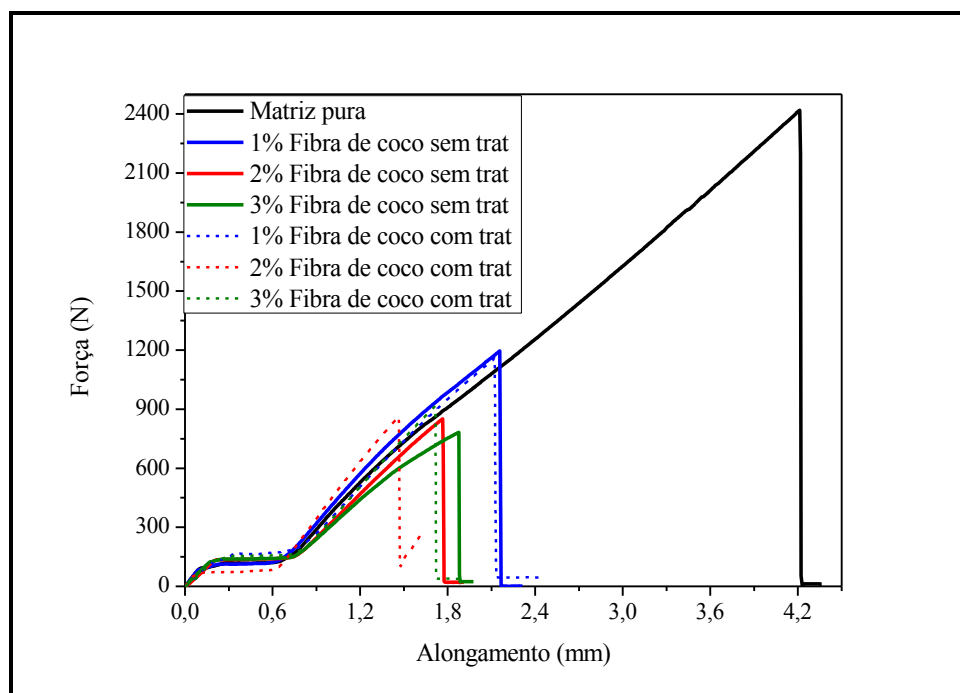


Figura 4.13 - Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com fibra de coco sem e com tratamento.

É possível observar que em todos os casos os compósitos apresentaram resultados inferiores a matriz plena. Isto pode estar relacionado a orientação das fibras nos corpos de prova, sendo organizadas de forma randômicas e em alguns casos estas se

acomodaram em sentido contrário ao esforço axial realizado durante o ensaio de tração, aumentando assim a existência de pontos de propagação de trincas.

Os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino apresentaram valores de tensão máxima maiores que o compósito com o mesmo percentual sem tratamento alcalino em quase todos os casos (1% e 3% de fibra de coco), o que pode explicar a melhor adesão da fibra a matriz devido ao aumento da superfície de contato das fibras com a matriz provocado pelo tratamento alcalino, mostrando-se eficiente nestes casos.

A fibras de coco foram distribuídas de maneira aleatória nas placas como pode ser observado na Figura 4.14, no compósito com 1% de fibra de coco, sendo que houve acomodação da fibra na direção perpendicular ao esforço axial do ensaio de tração (setas vermelhas). A principal falha ocorrida na fratura foi a da fibra romper junto a matriz (setas amarelas).

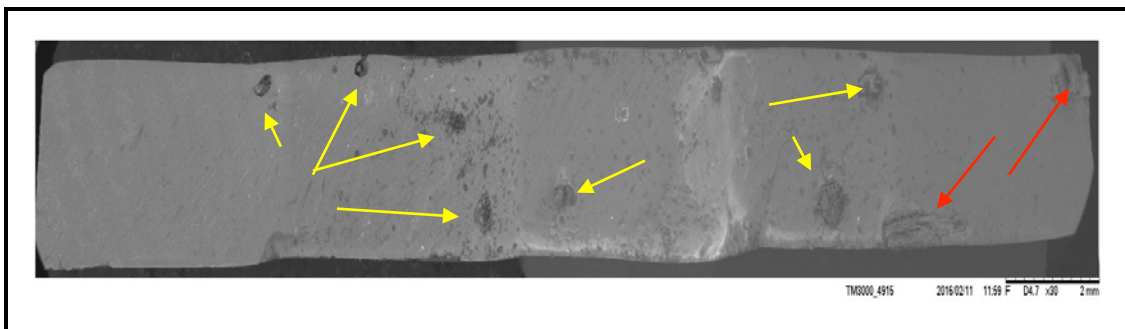


Figura 4.14 - Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 1% de fibra de coco sem tratamento alcalino.

A partir da análise de fratura por microscopia eletrônica de varredura dos compósitos com 3% de fibra de coco sem tratamento (Figura 4.15) pode-se observar que a incidência de falha dominante foi de a fibra romper junto com a matriz (setas amarelas). Também é possível verificar a ocorrência de *pullout* (seta branca), o descolamento da fibra em alguns casos (setas vermelhas) e fica claro a propagação de uma trinca que se estendeu pelo corpo de prova (setas verdes).

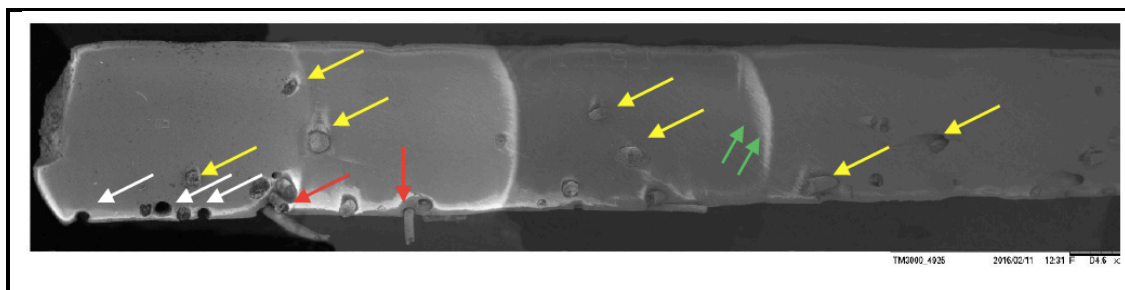


Figura 4.15 - Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 3% de fibra de coco sem tratamento alcalino.

A Figura 4.16 mostra a ocorrência de *pullout* no compósito com 1% de fibra de coco com tratamento alcalino (seta branca), sendo predominante a ruptura da fibra junto a matriz (setas amarelas). A superfície de fratura apresentou trinca interna (seta preta), ocorrendo também a acomodação da fibra no sentido perpendicular ao esforço axial do ensaio de tração (seta vermelha). É possível observar as possíveis raiais onde se originou a fratura do corpo de prova (setas verdes).

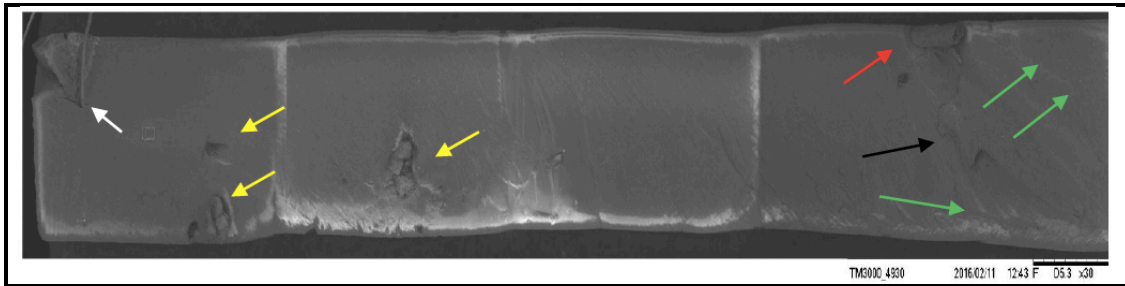


Figura 4.16 - Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 1% de fibra de coco com tratamento alcalino.

Na análise de fratura do compósito com 3% de fibra de coco com tratamento alcalino por meio de microscopia eletrônica de varredura (Figura 4.17) foi possível identificar o rompimento da fibra com a matriz como a falha predominante no ensaio de tração (setas amarelas), ocorrendo com menor incidência *pullout* (setas brancas), algumas fibras se acomodaram em sentido perpendicular ao esforço axial (setas azuis) e as raiais de propagação da trinca ficam evidentes (setas verdes).

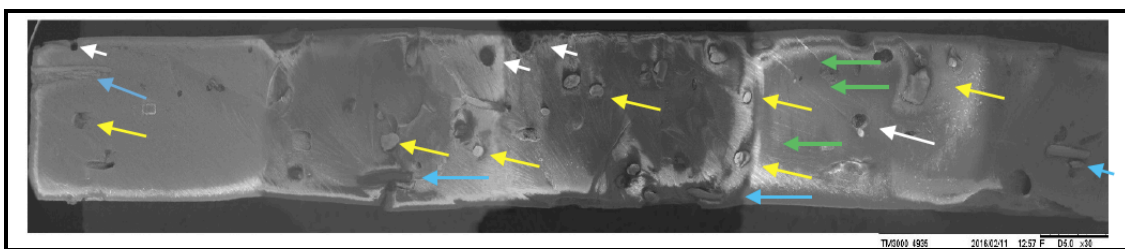


Figura 4.17 - Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 3% de fibra de coco com tratamento alcalino.

4.5.2. Compósitos com resíduo de mármore e granito

Os valores de tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito com seus respectivos desvios padrões são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

Material	Tensão máxima (MPa)
Matriz plena	31,94±7,24
10% resíduo de mármore e granito	18,07±3,58
20% resíduo de mármore e granito	22,44±5,05
30% resíduo de mármore e granito	19,51±3,17
40% resíduo de mármore e granito	19,58±3,13

Pode-se afirmar, a partir da análise da Figura 4.18 que o acréscimo das partículas do resíduo pode ter agido como pontos concentradores de tensão, apresentando resultados inferiores a da matriz plena.

A tensão máxima alcançou seu maior valor para o compósito com 20% de resíduo de mármore e granito, fato este que pode ter ocorrido devido a boa acomodação e facilidade de homogeneização da carga na matriz para este percentual. Para os compósitos com 30% e 40% houve mais dificuldade de homogeneização formando uma mistura mais viscosa, mostrando que a quantidade insuficiente de matriz para impregnar todo o resíduo. Para o compósito com 10% foi possível observar a nível macroscópico a sedimentação e a distribuição não uniforme da carga no compósito após a cura e foi o que apresentou o resultado mais baixo.

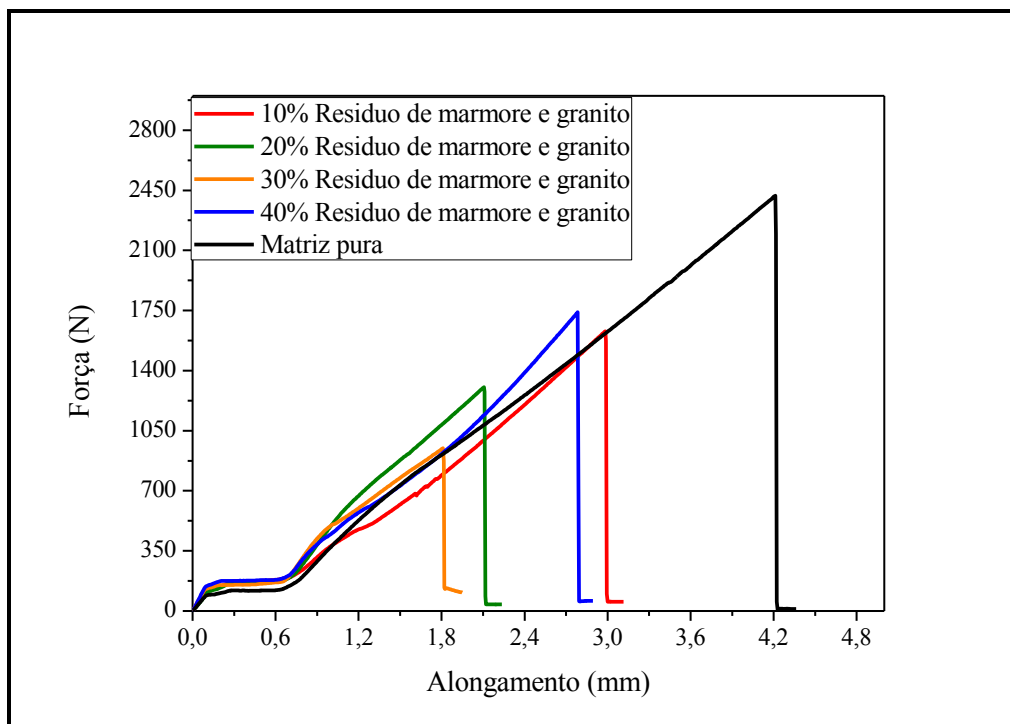


Figura 4.18 - Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com resíduo de mármore e granito.

A superfície de fratura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito (Figura 4.19) apresenta algumas trincas internas identificadas com setas pretas e não apresenta descolamento de aglomerado de resíduo, sendo possível observar as raiais da possível origem de nucleação da fratura identificadas com setas verdes.

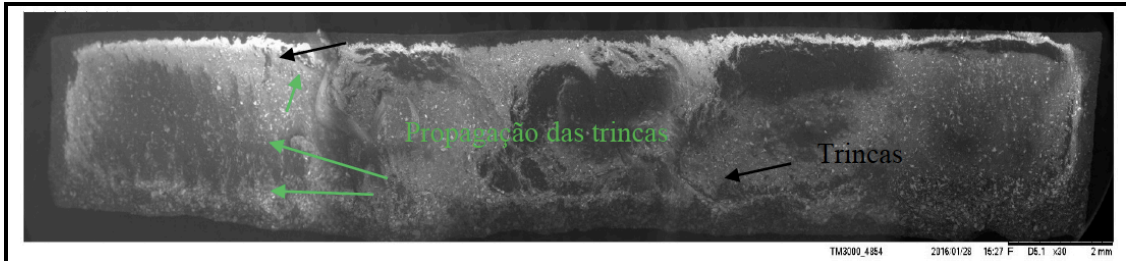


Figura 4.19 - Micrografia eletrônica de varredura da região de fratura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito.

Apesar do peneiramento as partículas de mármore e granito apresentaram variação de granulometria conforme ilustra a Figura 4.20, isto pode estar atribuído ao peneiramento reter apenas partículas maiores que a da escala da peneira utilizada, sendo que partículas de tamanhos menores com diferentes variações de tamanho acabam por não serem retidas e a não uniformidade no tamanho delas acaba causando a sedimentação das partículas de granulometria maior no compósito com 10% de resíduo de mármore e granito identificada em setas vermelhas. Estas camadas de diferentes granulometrias podem estar relacionadas ao tempo de cura do compósito que foi o suficiente para que as partículas com maior densidade sedimentassem na base do molde.

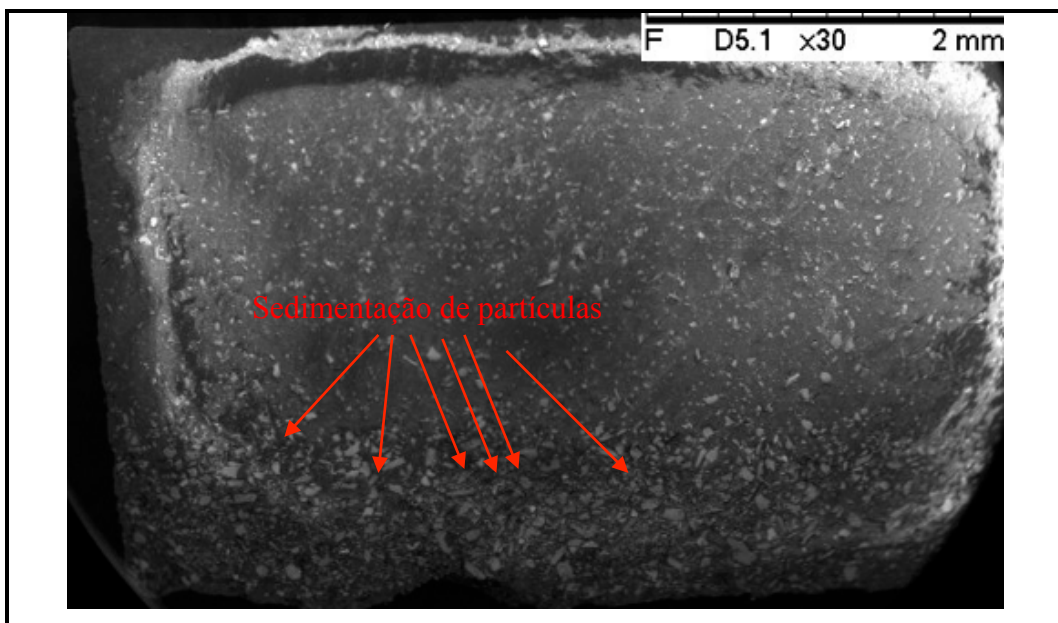


Figura 4.20 - Sedimentação de partículas do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito.

A Figura 4.21 ilustra a imagem de microscopia eletrônica de varredura da superfície de fratura do compósito com 20% de resíduo de mármore e granito. É possível observar uma superfície rugosa devido a concentração das partículas do resíduo e uma distribuição delas melhor que a com 10% de resíduo. A superfície apresenta algumas trincas internas indicadas por setas vermelhas e não é possível observar deslocamento de aglomerado.

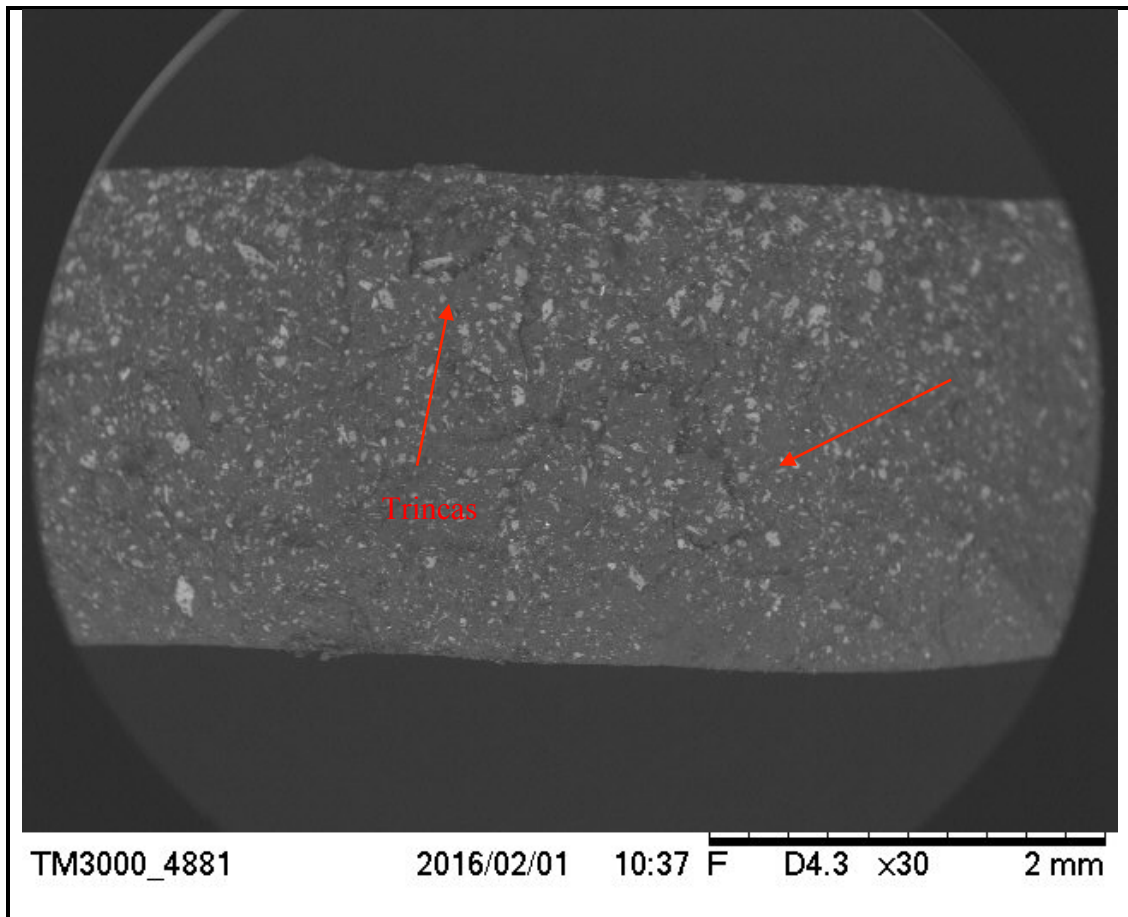


Figura 4.21 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 20% de resíduo de mármore e granito.

4.5.3. Compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco

A Tabela 4.6 apresenta os valores de tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco com tratamento alcalino e sem tratamento alcalino com seus respectivos desvios padrões.

Tabela 4.6 - Tensão máxima dos compósitos com resíduo de mármore e granito e fibra de coco.

Material	Tratamento alcalino	Tensão máxima (MPa)
Matriz plena	-	31,94±7,24
10% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	17,70±3,36
10% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	15,47±3,16
20% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	16,25±1,43
20% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	17,10±3,39
30% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Não	12,17±2,54
30% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Não	14,08±2,81
10% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	19,91±0,77
10% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	16,93±2,45
20% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	16,40±1,93
20% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	17,43±0,55
30% resíduo de mármore e granito 1% fibra de coco	Sim	11,43±3,73
30% resíduo de mármore e granito 2% fibra de coco	Sim	16,75±2,62

O aumento do percentual de fibra diminuiu os valores de tensão máxima para os compósitos com 10% de resíduo. O aumento de componentes na matriz é um fator que pode ter influenciado diretamente na redução da resistência à tração dos compósitos, sendo que a interação fibra/matriz/carga se torna mais difícil.

É possível observar também que os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino tiveram valores de tensão máxima maiores na maioria dos casos comparados aos compósitos com fibra de coco sem tratamento (Figura 4.22), sendo que o único que apresentou valor menor que o mesmo material com fibra sem tratamento foi com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco. Outro ponto importante a se observar é que os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino apresentaram menores valores de deformação comparados com os seus mesmos percentuais sem tratamento. Isto pode estar ligado a boa adesão fibra matriz nesses casos, impedindo a maior deformação do material.

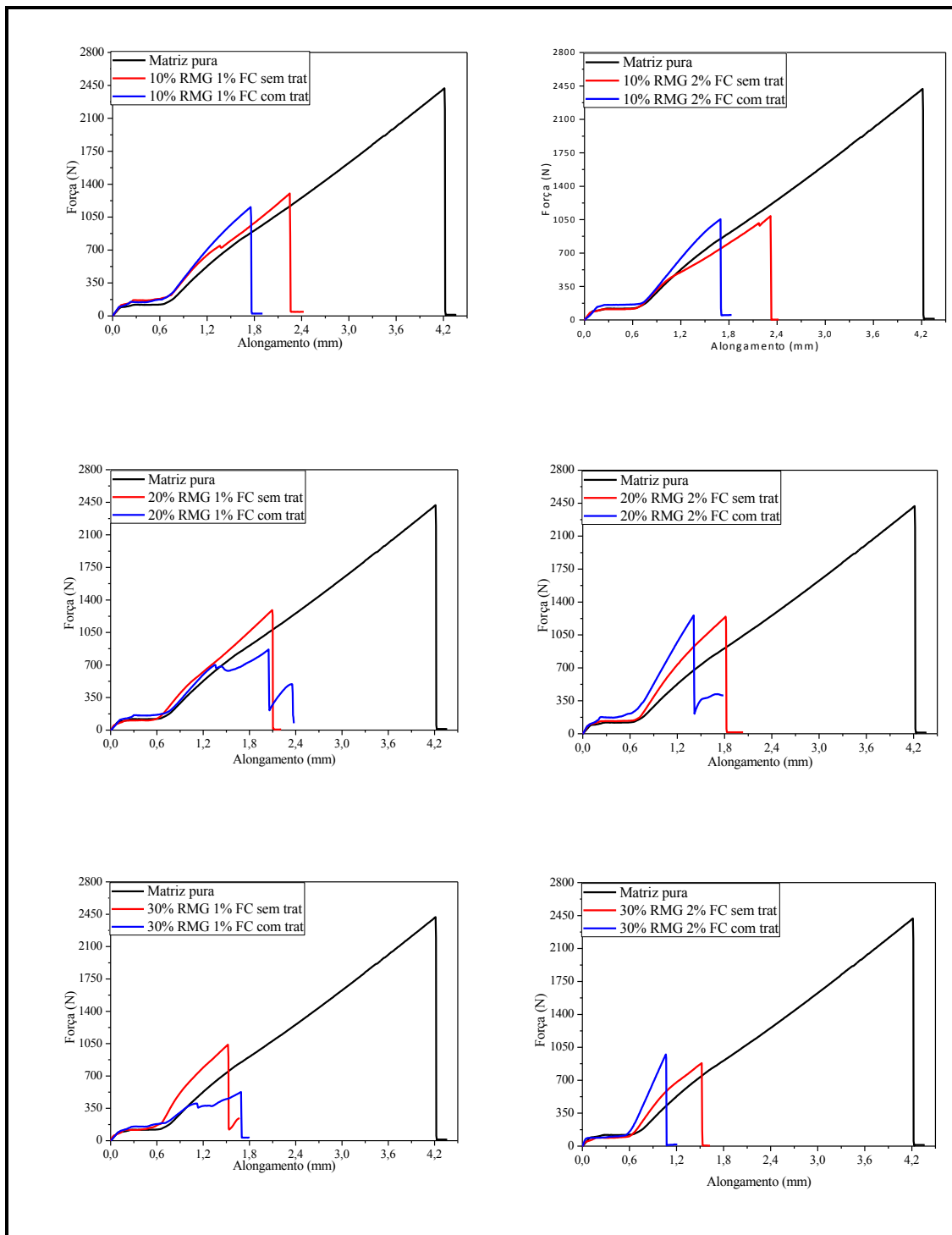


Figura 4.22 - Curva força versus alongamento da matriz plena e compósitos com resíduo de mármore e granito fibra de coco sem e com tratamento.

A análise de microscopia eletrônica de varredura da região fraturada no ensaio de tração do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito e 2% de fibra de coco sem tratamento, a Figura 4.23 mostra várias regiões que é possível evidenciar que não houve uma distribuição uniforme das fibras, sendo que em alguns casos elas se encontram em sentido perpendicular ao esforço axial de tração, agindo mais como um

fator que fragiliza o compósito do que como reforço. Pode-se verificar a ocorrência de *pullout* indicados em setas brancas, que mostra a fraca adesão da fibra à matriz; e na minoria dos casos a fibra rompeu junto com a matriz, sendo mesmo assim considerado como um mecanismo de falha na matriz. O compósito apresenta aspecto rugoso, com variação de granulometria do resíduo. A superfície também apresenta trincas internas evidenciadas em setas pretas.

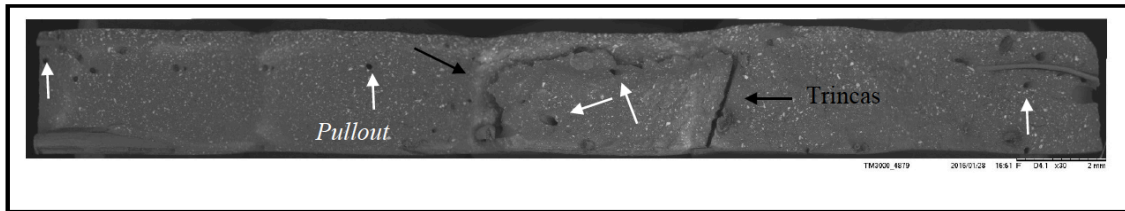


Figura 4.23 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito e 2% de fibra de coco sem tratamento alcalino.

A região fraturada do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco sem tratamento, ilustrada pela Figura 4.24 apresenta menor incidência de *pullout* das fibras indicados com setas brancas, sendo que na maioria dos casos a fibra rompeu junto com a matriz destacadas com setas amarelas, e em alguns casos as fibras estavam direcionadas em sentido perpendicular ao esforço axial do ensaio de tração, facilitando assim o rompimento do corpo de prova.

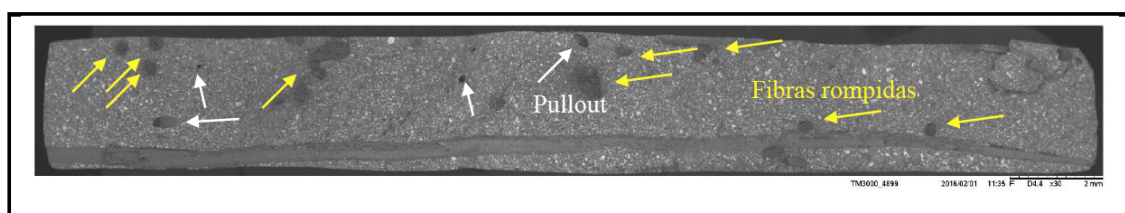


Figura 4.24 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco sem tratamento alcalino.

Outro fator que contribuiu negativamente na resistência do compósito foi a baixa adesão fibra/matriz, como pode ser evidenciada na Figura 4.25, onde houve descolamento da fibra da matriz identificado com setas vermelhas.

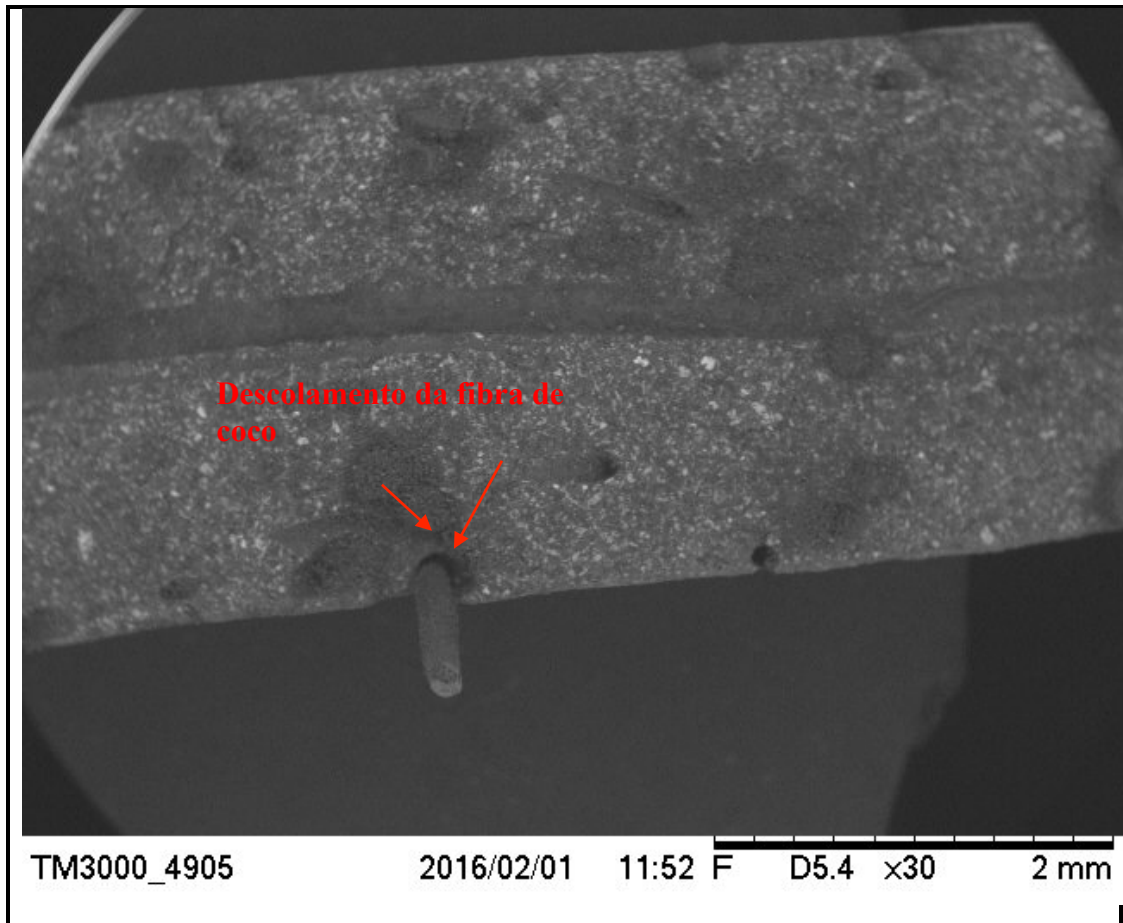


Figura 4.25 - Descolamento da fibra de coco do compósito com resíduo de mármore e granito e fibra de coco sem tratamento alcalino.

Fazendo análise da Figura 4.26 é possível afirmar que a falha predominante na ruptura do corpo de prova com 10% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino é a de ruptura da fibra junto a matriz (setas amarelas), tendo menor incidência de *pullout* (seta branca). A figura ilustra que houve sedimentação (setas verdes) e variação de granulometria do resíduo. O corpo de prova possui algumas trincas internas (setas pretas).

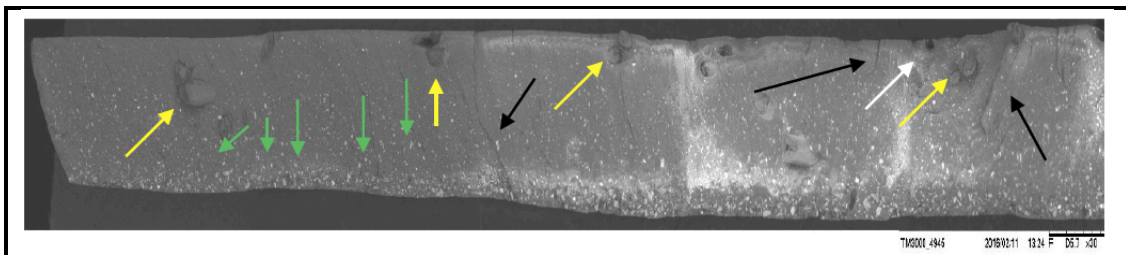


Figura 4.26 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 10% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino.

O corpo de prova do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco analisado por microscopia eletrônica de varredura (Figura 4.27) apresenta descolamento da fibra da matriz (setas brancas), provavelmente houve a ocorrência de *pullout* da fibra, mas a falha predominante é a de ruptura da fibra junto a matriz (setas amarelas). O resíduo foi distribuído de maneira uniforme e não é possível observar o descolamento de aglomerados de resíduo.

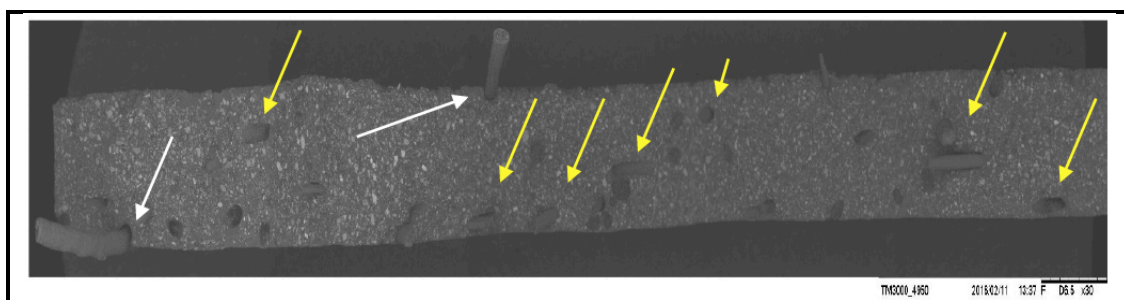


Figura 4.27 - Micrografia eletrônica de varredura do compósito com 30% de resíduo de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino.

4.6. TESTE DE FLAMABILIDADE UL94

Os resultados do teste de flamabilidade na vertical mostraram que os compósitos com a matriz plena e com resíduo variando de 10% à 40% não se enquadram em nenhuma das classificações dos parâmetros v_0 , v_1 e v_2 estabelecidos pela norma, pois atingiram um tempo de queima superior a 250 segundos, sendo que todos os corpos de prova queimaram até o prendedor e o material apresentou gotejamento queimando o algodão. A Figura 4.28 mostra um corpo de prova durante o ensaio.

Os resultados do teste de flamabilidade na horizontal estão apresentados na Tabela 4.7. O ensaio apresentou decréscimo da taxa de queima conforme o aumento do percentual de resíduo de mármore e granito sendo o menor para o compósito com 40% de resíduo de mármore e granito valor este de aproximadamente 7,98 mm/min, isto pode ter ocorrido devido a redução da quantidade do material inflamável que é a resina poliéster. O gráfico com os resultados da taxa de queima do teste de flamabilidade na horizontal estão presentes na Figura 4.29.

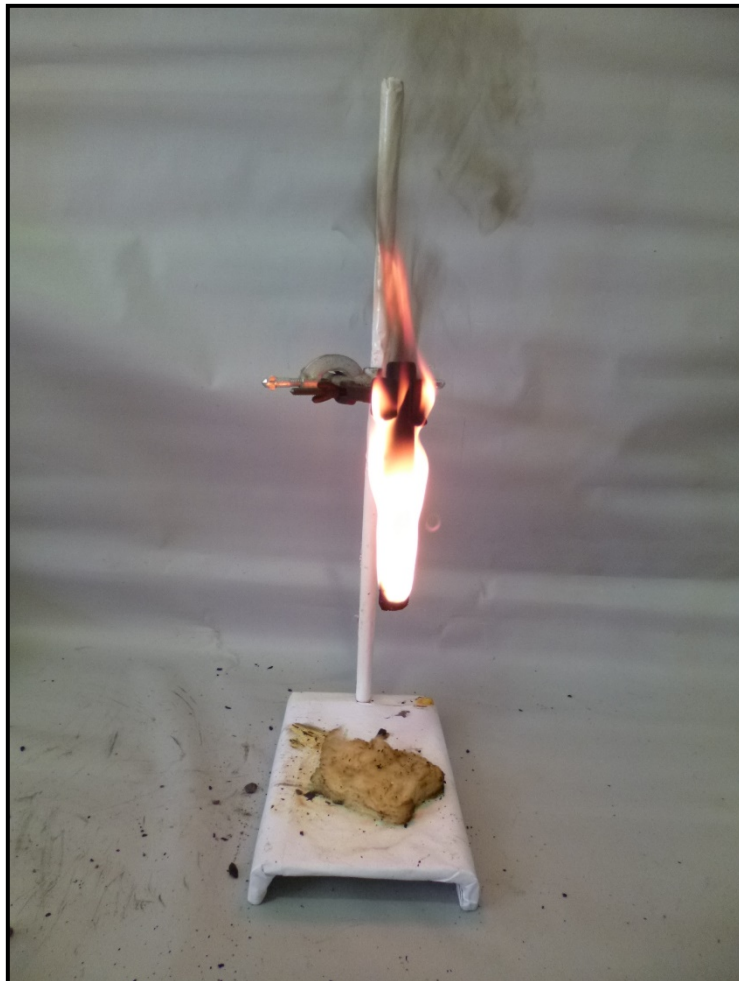


Figura 4.28 - Corpo de prova durante o ensaio de flamabilidade na vertical.

Tabela 4.7 - Taxa de queima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

Material	Taxa de queima (mm/min)
Matriz plena	18,518±2,059
10% resíduo de mármore e granito	12,870±0,470
20% resíduo de mármore e granito	11,338±0,895
30% resíduo de mármore e granito	8,460±0,624
40% resíduo de mármore e granito	7,981

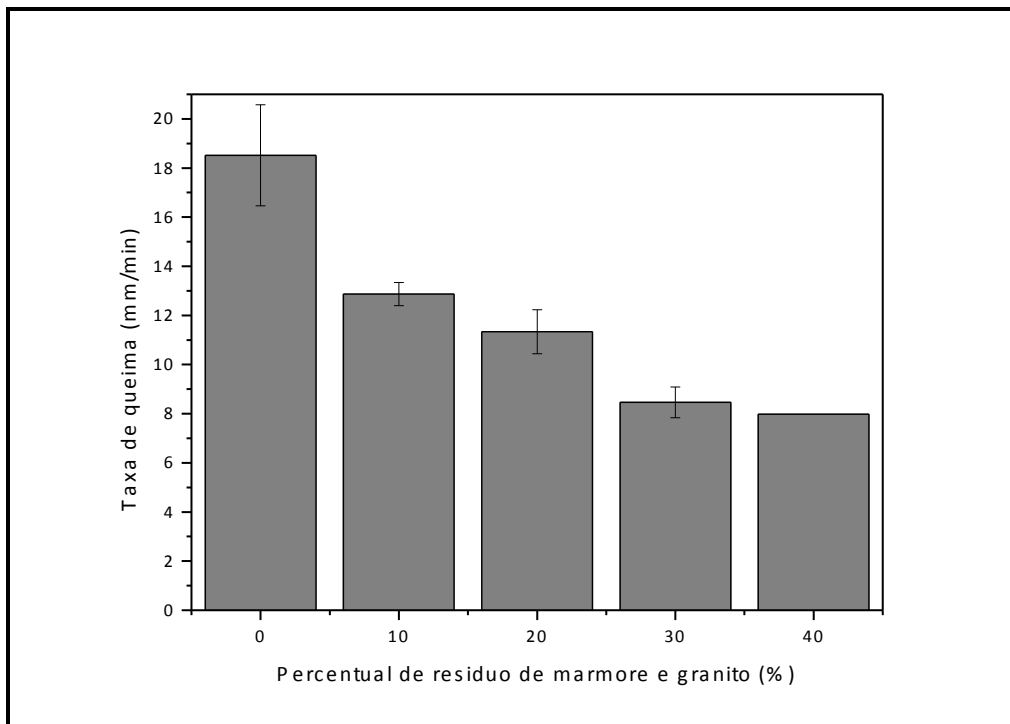


Figura 4.29 - Gráfico da taxa de queima dos compósitos com resíduo de mármore e granito.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O tratamento alcalino nas fibras de coco em solução de NaOH durante 24 horas eliminou ceras, extrativos e constituintes amorfos superficiais, aumentando o número de poros na superfície da fibra e degradando superficialmente a ponto de aumentar a superfície de contato delas com a matriz poliéster.

A técnica de fabricação de compósito com aplicação de pressão se mostrou viável, tomando como base a análise dos resultados obtidos. Os materiais apresentaram facilidade de se homogeneizar, as placas fabricadas apresentaram poucos defeitos e nenhuma ranhura ou trinca externa.

O resíduo de mármore e granito apresentou através da difração de raio-X picos de albita, calcita ilita e quartzo a existência dos minerais na sua composição como era esperado.

A presença de fibra de coco diminuiu a massa específica dos compósitos com resina poliéster e fibra de coco sem tratamento alcalino e aumentou o percentual de absorção de água

Os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino apresentaram na maioria dos casos valores de massa específica aparente menores comparados com os compósitos com fibra sem tratamento.

O grupo de compósitos híbridos com resíduo de mármore e granito e fibra sem tratamento alcalino apresentou valores de massa específica aparente maiores que a matriz plena e crescimento se deu conforme o aumento do resíduo de mármore e granito.

O aumento do percentual de resíduo de mármore e granito nos compósitos híbridos aumentou os valores da massa específica aparente dos compósitos com resina poliéster e resíduo de mármore e granito e a fraca interação entre os componentes dos compósitos aumentou o percentual de absorção de água.

A fibra de coco e o resíduo de mármore e granito diminuíram a resistência mecânica dos compósitos apresentando em todos os casos valores inferiores a matriz plena nos ensaios de tração.

Os compósitos com fibra de coco com tratamento alcalino apresentaram valores de tensão máxima superiores aos compósitos com fibra de coco sem tratamento.

As análises de MEV evidenciaram a fraca adesão fibra/matriz e fibra/matriz/carga o que contribuiu negativamente para o baixo desempenho mecânico dos compósitos nos ensaios de tração.

Os valores máximos de tensão máximas foi do compósito com 1% de fibra de coco com tratamento que corresponde a 14,39 MPa, 20% de resíduo de mármore e granito que alcançou 22,44 MPa e 10% de mármore e granito e 1% de fibra de coco com tratamento alcalino igual a 19,91 MPa.

O material não se enquadra em nenhuma das classificações da norma UL94 na vertical e a redução do percentual da resina poliéster no compósito com resina poliéster e resíduo de mármore e granito reduziu a taxa de combustão de queima nos testes na horizontal.

Como sugestões para trabalhos futuros pode-se indicar a utilização de fibras de coco alinhadas no compósito de matriz polimérica para análise do comportamento mecânico e analisar a influência de tempos de exposição maiores do que neste trabalho da fibra de coco na solução de hidróxido de sódio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D 3039 – 14. **Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials**. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.

ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. **Rochas Ornamentais no Século XXI**. Disponível: www.abirochas.com.br, (Acessado em 02 Mar. 2015).

BEDIN, MATHEUS GUILHEN. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco *in natura* e modificada**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais do Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2014.

BENASSI, A. C. **Caracterizações biométrica, química e sensorial de frutos de coqueiro variedade Anã Verde**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2006.

BENINI, KELLY CRISTINA COELHO DE CARVALHO. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: hips/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Dissertação de mestrado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Materiais. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011

CALLISTER, Jr, WILLIAM D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. Utah: LTC, 2002.

CALLISTER, Jr, WILLIAM D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro : LTC, 2013.

CANEVAROLO JÚNIOR, S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª ed. Artliber Editora. São Paulo, 2006.

CERQUEIRA, VICENTE. **Reciclagem de Polímeros: Questões Sócio-ambientais em Relação ao Desenvolvimento de Produtos**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CHIODI FILHO, CID. CHIODI, DENISE KISTEMANN. **Relatório Técnico 33: Perfil de rochas ornamentais e de revestimento**. MME – Ministério das Minas e Energia. SGM - Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. S.I, 2009.

COSTA, DEIBSON SILVA. **Caracterização de materiais compósitos de matriz Poliéster e fibras de bambu, sisal, e vidro e híbridos bambu/sisal, bambu/vidro e sisal/vidro**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2012.

COSTA, DEIBSON SILVA. EL BANNA, WASSIM RAJA. DOS SANTOS, EDUARDO DE JESUS SILVA. SOUZA, JOSÉ ANTÔNIO DA SILVA. **Compósitos laminados de carga de lama vermelha e fibras curtas de malva**. 69º Congresso anual da ABM. Encontro nacional de estudantes de Engenharia metalúrgica, de materiais e de Minas, São Paulo, 2014.

DA SILVA, CAMILA RABELO. **Efeito da adição de rejeito de mármore e granito como carga em compósitos de poliéster insaturado reforçados com fibra de coco**. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia Química. Universidade Federal do Pará, Pará, 2015.

DA SILVA, VERA LÚCIA DIAS. **Comportamento mecânico e de flamabilidade de compósitos de polipropileno reciclado com fibra de coco e hidróxido de alumínio**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará, Pará, 2006.

GASSAN, J., BLEDZKI, A.K. **Composites reinforced with cellulose based fibres, progress**. Polymer Science, v.24, 1999.

GRISON ELYO CAETANO. **Poliéster Insaturado**. Universidade Federal de Santa Maria, 1987.

HEJAZI, S. M.; SHEIKHZADEH, M., ABTAHI, S. M., ZADHOUSH, A. **A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, Construction and Building Materials**. v. 30, 2012.

HULL, DEREK. **An introduction to composite materials**. Cambridge Univ. Press. Cambridge, 1998.

LEVY NETO, FLAMÍNIO; PARDINI, LUIZ, CLAUDIO. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Edgar Blucher. São Paulo, 2006.

LI, X., TABIL, L. G. and PANIGRAHI, S., “Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review”, Journal of Polymers and the Environment, v.15: p. 25-33, 2007.

LIMA JR. UBIRAJARA, MARQUES. **Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios**. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais - Universidade Pontifícia de Porto Alegre, Porto Alegre, 2007.

MALAINÉ, M. E.; MAHROUZ, M.; DUFRESNE, A. **Termoplastic nanocomposites based on cellulose microfibrils from *Opuntia ficus-indica* parenchyma cell**. Composites Science and Technology. v. 65, 1520 – 1526, 2005.

MARÇAL, RUBENS LINCOLN SANTANA BLAZUTTI. **Fabricação de vidros especiais a partir de resíduos da indústria de rochas ornamentais**. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2011.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORT, M. C.; KOBAYASHI, M.; NOBRE, A.D. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica**. *Polímeros*, v. 18, 2008.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. Artliber. São Paulo, 2011.

MELLO, ROBERTA MONTEIRO. **Utilização do resíduo proveniente do acabamento e manufatura de mármore e granitos como matéria-prima em cerâmica vermelha**. IPEN-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

MESQUITA, ANTONIO DE LIMA. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe Oleracea* MART.) da Amazônia para produção de ecopanel de partículas de média densidade**. Tese de doutorado, Programa de Pós graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Pará, Pará, 2013.

MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R. C. M. P.; LOPES, F. P. D.; d'ÁLMEIDA, J. R. M. **Tenacidade ao entalhe por impacto charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava**. *Revista Matéria*, v. 11, n. 3, p. 204-210, 2006.

MORAES, SANDRA REGINA PIRES; OLIVEIRA, ANDRÉ LUIZ RIBAS; SOUZA, JOÃO FÁBIO; ALVES, JOSÉ DAFICO. **Avaliação de polímeros termoplásticos recicláveis como materiais componentes de telhas e tijolos**. *Enciclopédia Biosfera – Centro Científico conhecer*, Goiás, 2010.

MOREIRA, J. M. S.; FREIRE, M. N.; HOLANDA, J. N. F. **Utilização do resíduo de serragem de granito proveniente do estado do Espírito Santo em cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro, 2003.

MOURA, W. R. **Anteprojeto de industrialização**. POEMA tropic – Programa Pobreza e Meio Ambiente na Amazônia. Pará, 2001

MWAIKAMBO, L. Y; ANSELL, M. P. **Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization**. *Journal of Applied Polymer Science*, Hoboken, 2002.

NAIK, N. K.; SIRISHA, M.; INANI, A. **Permeability characterization of polymer matrix composites by RTM/VARTM**. *Progress in Aerospace Sciences*, 2013.

OLIVEIRA, CAROLINA NASCIMENTO. RIBEIRO, ROBERTO CARLOS DA CONCEIÇÃO. QUEIROZ, JOEDY PATRÍCIA CRUZ. **Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos**. *Série Tecnologia Ambiental*, nº 54. CETEM/MCT. Rio de Janeiro 2010.

OLIVEIRA, M. J. A. Efeito da adição de lama vermelha como carga nas propriedades mecânicas de compósitos de poliéster insaturado reforçado com fibra natural de curauá (*Ananas erectifolius*). 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.

PASSATORE, CLAUDIO, R.. **Química dos polímeros**. 3º modulo – técnico em Química. Escola Técnica Estadual Tiquatira, São Paulo, 2013.

PEDROSO, A. G. **Desenvolvimento de um processo de manufatura de placas de compósitos de poliéster insaturado/fibras de vidro pós-consumo e resina de poliéster insaturado**. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

PEREIRA, CAMILA LÚCIO. **Aproveitamento do resíduo do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural**. Tese de Doutorado, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

PEREIRA, J. C. **Curso de projeto estrutural com materiais compostos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

RABELLO, MARCELLO SILVEIRA. **Aditivção de polímeros**. 1 reimp. Editora Artliber, São Paulo, 2007.

RIBEIRO, MIGUEL DA FONSECA AMARAL. **Desenvolvimento de placa de sinalização em plástico reforçado com fibra de sisal e carga de rejeito de corte de pedras ornamentais**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, 2005.

RODRIGUES, JEAN DA SILVA. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido, fibras naturais e resíduos da indústria madeireira**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Pará, 2008.

SANTOS, EVELISE, FONSECA. **Efeitos de agentes de acoplamento em compósitos depolipropileno com fibras de coco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVA, JOÃO PEDRO DOS SANTOS FRANCO. **Optimização das Condições de Produção de Resinas de Poliéster Insaturado**. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química. Instituto Superior técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

SILVA, I. I. S. A.; LAGO, L. B.; SOARES, J. P.; SOUZA, P. S. L. **Avaliação do uso de fibra de coco em compósitos cimentícios**. Congresso brasileiro do concreto. IBRACON, Salvador, 2008.

SILVA, R. V.; SPINELLI, D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANI, J. R. **Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites**. Composites Science Technology, Barking, 2006.

SILVA, ROSANA VILARIM. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SPÍNOLA, VERA; GUERREIRO, LUIS FERNANDO; BAZAN, RAFAELA. **A indústria das rochas ornamentais**. Desenhahia – Agência de Fomento do Estado da Bahia, Bahia, 2004.

TIMMINS, N. **Growth opportunities in global composites: 2016 and beyond**. Jan. 2011. Disponível em: <<http://www.compositesworld.com/columns/growthopportunities-in-global-composites-2016-and-beyond>>. Acessado em: 23 Mar. 2015.

UNDERWRITERS LABORATORIES. **Test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances**. Northbrook 1998.

VILASCHI, ARLINDO FILHO; SABADINI, MAURÍCIO DE SOUZA. **Arranjo produtivo de rochas ornamentais (mármore e granito) no estado do Espírito Santo: nota técnica 13**. Espírito Santo, 2000.