



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA
APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Brenda Costa Albuquerque

**Belo Horizonte-MG
2014**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE
MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA
APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Brenda Costa Albuquerque

Monografia apresentada ao Curso de Química Tecnológica do CEFET-MG como parte das exigências da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II).

Orientador: Prof^a. Dra. Patrícia Santiago de Oliveira Patrício.

Co-orientador: Prof. Lúcio Carlos Magalhães Teixeira.

Banca Examinadora:

**Prof^a Dra. Patrícia Santiago de Oliveira Patrício
(orientador)**

Msc. Ana Pacheli Heitmann Rodrigues

Msc. Claudilene Regina Silva

Monografia aprovada em 12 de agosto de 2014

**Belo Horizonte-MG
2014**

AGRADECIMENTOS

À minha mãe que sempre me apoiou em todos os momentos, com palavras de incentivo e carinho.

Ao meu pai, pelo afeto e compreensão.

Ao meu irmão Anderson, por entender meu mau-humor e estresse.

Ao meu namorado Allyson, por estar ao meu lado nos momentos mais difíceis, por ser meu guia em situações de aflição.

Ao Prof. Lúcio pela imensa ajuda no desenvolvimento do compósito e na coleta dos materiais.

À Profa. Dra. Patrícia Santiago pela confiança depositada em mim e paciência.

À Viviane Munhoz, pela disposição em ajudar na parte prática e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos Marco Antônio, Laís, Irlanda e Carol, pelo enorme incentivo, com palavras de apoio e orações.

À minha avó, que não está mais presente nesse mundo, mas que sempre torceu pelo meu sucesso. Enormes saudades!

A todos que, embora não citados, contribuíram de forma direta ou indireta para a realização desse trabalho. Meus agradecimentos!

LISTA DE ABREVIATURAS

A.C- Antes de Cristo

CEFET- MG- Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CEPED- Centro de Pesquisa e Desenvolvimento

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente

CP- Corpo de prova

DTG- Termogravimetria Derivativa

ESALQ/USP- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo.

fv- fração volumétrica

h- hora

INMETRO- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e tecnologia

IR- Espectroscopia de absorção na região do infravermelho

MDF- *Medium Density Fiberboard*

MEV- Microscopia eletrônica de varredura

MG- Minas Gerais

min- minuto

Mpa- Mega Pascal

NBR- Norma Brasileira

PHB- Poli (3-hidroxibutirato)

PNRS- Política Nacional de Resíduos Sólidos

RCD- Resíduos de Construção e Demolição

TG- Termogravimetria

UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas, (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente	9
Figura 2- Estrutura da celulose	13
Figura 3- Estrutura da lignina	13
Figura 4- Estrutura Química do poli(3- hidroxibutirato), PHB.....	13
Figura 5- Triglicéride do ácido ricinoleico	17
Figura 6- Versatilidade química do ácido ricinoleico	17
Figura 7- Figura representativa de uma curva TG ideal e uma curva TG prática, e suas respectivas curvas DTG	19
Figura 8- Cinco tipos de compósitos obtidos: (A) com composição exata da tabela I; (B) com 30% m/m a menos de MDF; (C) com 30% m/m a mais de bica corrida; (D) com 10 ml de óleo de mamona; (E) com pó de PHB na proporção de gesso e MDF	28
Figura 9- Estrutura Química do triglicéride do Ácido Ricinoleico.....	30
Figura 10- Borda do compósito de PHB	30
Figura 11- Compósito com pó de PHB ao serem retirados da água	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (i)	22
Tabela 2- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (ii)	23
Tabela 3- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (iii)	23
Tabela 4- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (iv)	24
Tabela 5- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (v)	24
Tabela 6- Análise de Absorção de água para as cinco amostras do compósito	28

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITO PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA CIVIL

ALBUQUERQUE, B. C.; PATRÍCIO, P. S. O.; TEIXEIRA, L. C. M

A busca crescente por formas de reaproveitar os resíduos gerados por diversas atividades do setor industrial representa uma tendência mundial cada vez mais consolidada em nossa sociedade. A ciência dos materiais compósitos ganha destaque nesse contexto, sendo desenvolvidos muitos trabalhos nessa área objetivando produzir novos materiais sustentáveis e de interesse industrial. Em 2013, MUNHOZ propôs a elaboração de materiais compósitos produzidos através de resíduos das indústrias de banicultura, da construção civil, sucroalcooleira e moveleira que substituíssem os tijolos convencionais empregados na construção civil. Entretanto, esses materiais foram considerados disformes, pois obtiveram absorção de água fora dos parâmetros exigidos pela norma brasileira. O presente trabalho visa reduzir a quantidade de água absorvida pelos compósitos com a adição de dois novos componentes à matriz: o Poli (3-hidroxi-butirato) – PHB e o óleo de mamona; e com a diminuição e o aumento de 30% m/m dos componentes pó de MDF e bica corrida, respectivamente. Além disso, os reagentes passaram por uma peneira de 48 MESH antes de serem misturados. Como resultado, observou-se que a adição do PHB e do óleo de mamona não contribuíram para a redução da absorção de água do compósito, bem como a redução da massa de pó de MDF e o aumento da quantidade de bica corrida na matriz. Entretanto, a peneiragem prévia dos componentes contribuiu para reduzir a absorção de água do material, comparativamente ao trabalho de MUNHOZ, 2013. Conclui-se que há a necessidade de uma melhor elaboração dos procedimentos de produção do compósito, bem como de um estudo individual de cada um de seus componentes a fim de desenvolver um material com as características necessárias para o emprego na indústria da construção civil.

Palavras- chave: compósitos, fibras, banana.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 Materiais Compósitos	5
3.1.1 Compósitos reforçados com partículas	7
3.1.2 Compósitos reforçados com fibras	7
3.2 Estudos de compósitos reforçados com fibras vegetais aplicados na construção civil	9
3.3 Fibras Naturais e outros estudos	12
3.4 Poli (3-hidroxi-butirato) - PHB	15
3.5 Óleo de mamona	16
3.6 Técnicas de Caracterização	17
3.6.1 Análise de absorção de água	17
3.6.2 Termogravimetria (TG)	18
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 Desenvolvimento dos corpos de prova	21
4.1.1 Materiais	21
4.1.2 Preparo dos corpos de prova	21
4.2 Caracterização dos corpos de prova	25
4.2.1 Análise de absorção de água	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1 Compósitos obtidos	27
5.2 Caracterização dos corpos de prova	27
5.2.1 Análise de absorção de água	28
6. CONCLUSÃO	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização ambiental da sociedade, a legislação ambiental e de gestão de resíduos por parte dos governantes e a dependência da indústria de recursos não renováveis, são fatores chave para o interesse em materiais “verdes” ou sustentáveis, nas mais diversas aplicações.

Nesse contexto, o desenvolvimento de novos materiais compósitos provenientes de fontes renováveis e ecologicamente corretas ganha destaque, do ponto de vista ambiental e industrial. A possibilidade de reaproveitamento, de diversos resíduos das mais variadas atividades produtivas, torna a ciência dos compósitos uma promissora aliada na redução dos custos de produção de mercadorias e na minimização dos impactos ambientais gerados pelas indústrias.

De acordo com CHERTMAN (2007), o Brasil, um dos maiores produtores mundiais da banana, é responsável pelo descarte de milhões de toneladas de pseudocaule do fruto por ano. Pelo fato das bananeiras não gerarem frutos mais de uma vez, grande parte desta deve ser cortada após a retirada dos cachos. Os resíduos da banicultura são importantes fontes de contaminação. O pseudocaule, após oferecer o fruto, pode proliferar fungos com difícil controle de crescimento, devido à alta umidade incidente nas plantações. Assim, as fibras de bananeira são alvo de estudos, pois são de grande cultivo em países tropicais e fornecem uma grande quantidade de resíduos que não são descartados corretamente nem reaproveitados, em sua maior parte.

A indústria moveleira depara-se em seus processos produtivos com volumes cumulativos de resíduos, sem descarte adequado. Quando depositados no meio ambiente, os resíduos se decompõem e lançam gás metano na atmosfera, colaborando para o efeito estufa.

O *Medium Density Fiberboard* (MDF) é o material mais largamente utilizado na indústria moveleira e de construção civil, por ser de fácil processamento, ter uma boa estabilidade dimensional, uniformidade e homogeneidade. Em sua produção, resinas sintéticas são adicionadas às fibras de madeira e estas são fixadas por pressão. Assim, o resíduo gerado pelo processo, é

altamente poluidor, onde o pó é o componente mais preocupante, pois se trata de um material fino e explosivo, podendo causar incêndios.

A problemática dos resíduos da construção civil vem movendo a cadeia produtiva do setor, tendo em vista que a Resolução Nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) atribuem responsabilidades compartilhadas aos geradores, transportadores e gestores municipais quanto ao gerenciamento e dissipação desses resíduos.

Para que os resíduos de construção e demolição (RCD) sejam reciclados e reaproveitados como matéria prima, as características do produto reciclado devem ser compatíveis ao uso a que ele se propõe. A bica corrida é um produto reciclado derivado desses resíduos, livre de constituintes que prejudiquem a sua compactação e de tamanhos de partícula variados, que podem ser ajustados conforme a necessidade de aplicação. Geralmente usada em camadas de base ou sub-base na pavimentação, vem sendo testada em diversos trabalhos como constituinte de compósitos de aplicação na construção civil.

A indústria sucroalcooleira é responsável por gerar um volume significativo de resíduos devido a sua alta produção. Dentre eles, destacam-se: terra, bagaço, fuligem e cinzas, torta de filtro e vinhaça. Esses resíduos, quando não possuem um destino adequado, podem contaminar o solo, águas superficiais e subterrâneas. A vinhaça, efluente líquido originário da produção de destilação do álcool, é o resíduo mais preocupante, devido a suas características de efluente ácido, de alta carga poluidora, elevada vazão e alta temperatura.

Agregando os resíduos expostos anteriormente, MUNHOZ (2013) desenvolveu seis tipos de compósitos. Com auxílio dos ensaios de termogravimetria, compressão e absorção de água, avaliou se os materiais obtidos poderiam ser aplicados na construção civil, especificamente para a produção de tijolos. Entretanto, a análise de absorção de água, não apresentou resultados satisfatórios para nenhuma das amostras preparadas.

Com a finalidade de reduzir a absorção de água dos compósitos desenvolvidos por MUNHOZ (2013), o presente trabalho agrega novos

constituintes à sua composição: o Poli-3-hidroxitato (PHB) e o óleo de mamona. Além disso, foram variados alguns parâmetros considerados importantes na constituição do material, com a finalidade de observar uma possível melhora em suas propriedades.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver materiais compósitos, utilizando resíduos em suas composições, com a finalidade de aplicá-los na construção civil.

2.2 Objetivos específicos

- Produzir compósitos baseados na mistura de resíduos provenientes da banicultura, da construção civil, da indústria moveleira e da indústria sucroalcooleira.
- Incorporar aditivos nos materiais previamente produzidos.
- Buscar melhorar a absorção de água dos compósitos derivados de resíduos de produção industrial estudados por MUNHOZ (2013) de forma a enquadrá-los dentro dos parâmetros estabelecidos pela NBR 8492/1984.
- Buscar ampliar os conhecimentos sobre materiais compósitos, principalmente os reforçados com fibras, uma vez que tal assunto é pouco explorado durante o curso de química.
- Caracterizar o compósito utilizando o ensaio de absorção de água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Materiais compósitos

O conceito de compósito é antigo, e tem sua origem na própria natureza, como é o caso da madeira, que constitui um compósito vegetal (REZENDE *et al.* 2012).

De maneira geral, um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, tal que é obtida melhor combinação das propriedades. De acordo com esse princípio da ação combinada, melhores combinações de propriedades são criadas por uma combinação judiciosa de dois ou mais materiais distintos. Um equilíbrio entre propriedades também é feito para muitos materiais compósitos (CALLISTER JR; RETWISH, 2012).

Nas palavras de REZENDE (2011), em um material compósito “cada um dos constituintes mantém suas propriedades físicas e químicas, embora o material resultante dessa combinação apresente propriedades diferentes daquelas observadas nos constituintes individuais”.

Nas mais antigas civilizações, intuitivamente, já se tinha a ideia de combinar materiais para obter outros diferenciados, como tijolos de argila com fibras de madeira e outras fibras naturais (REZENDE *et al.*, 2011). Os Sumérios, em 4000 A.C., adicionavam palha à lama, para aumentar a resistência dos tijolos. Entretanto, a tecnologia para a obtenção de compósitos, bem como o estudo do comportamento desses materiais são recentes (TITA *et al.*, 2003).

Observando que muitos compósitos são constituídos por apenas duas fases, CALLISTER JR; RETWISH (2012) define-se a fase contínua como sendo a matriz do compósito, enquanto que a fase envolvida pela matriz é denominada de fase dispersa. Assim, as propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases que o constituem, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. Quanto sua classificação, esses materiais evidenciam três divisões principais: os reforçados com partículas, fibras e os compósitos estruturais.

Segundo REZENDE *et al.* (2011), atualmente os compósitos são considerados materiais de engenharia heterogêneos multifásicos, em que

pelo menos um dos componentes fornece a resistência ao esforço. Por esse motivo, ele é denominado componente estrutural ou reforço, enquanto o outro é o meio de transferência ao esforço, sendo chamado de componente matricial ou matriz. A matriz deve ter uma forte adesão à superfície de reforço, de tal forma que ela se deforme no carregamento aplicado a um componente e transfira a carga entre os componentes do compósito.

A matriz de um material compósito exerce total influência em suas propriedades, pois determina a resistência do compósito à maioria dos processos degradativos que causam, eventualmente, a falha da estrutura, incluindo os danos de impacto, a delaminação, a absorção de água, ataque químico, resistência à corrosão e resistência à oxidação. Além de exercer influência nas propriedades do compósito, a matriz contribui para uma maior ou menor facilidade de conformação na fabricação do material compósito e influencia no custo final do produto (SOBRINHO, 2005).

Para SANTOS (2006), o componente estrutural ou reforço pode ser um material orgânico ou inorgânico (metálico ou cerâmico), de forma regular ou irregular, fibroso (tecido ou não tecido) ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (como flocos) ou como fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares, de material monocristalino ("whisker"). Os materiais estruturais devem apresentar resistência, rigidez e maleabilidade.

O compósito é projetado de modo que as cargas mecânicas a que a estrutura está submetida no serviço sejam suportadas pelo reforço. Suas propriedades dependem da matriz, do reforço, e da camada limite entre os dois, chamada de interface. Desta forma, há muitas variáveis a considerar ao projetar um compósito: o tipo de matriz (metálica, cerâmica e polimérica), o tipo de reforço (fibras ou partículas), suas proporções relativas, a geometria do reforço, método de cura e a natureza da interface. Cada uma destas variáveis deve ser cuidadosamente controlada a fim de produzir um material estrutural otimizado para as circunstâncias sob as quais será usado (GIBSON, 1994).

O progressivo aumento no uso de compósitos em aplicações estruturais se estende para a infraestrutura civil tal como pontes e túneis, para veículos de alto desempenho, tal como carros de corrida e aeronaves militares e

está sendo bastante difundida a aplicação desses materiais como reparos em estruturas sujeitas à corrosão. Em todas essas aplicações as propriedades específicas dos compósitos podem ser utilizadas para dar melhoramentos na eficiência estrutural com relação às estruturas metálicas convencionais (SOBRINHO, 2005).

3.1.1 Compósitos reforçados com partículas

Para a maioria desses compósitos, a fase particulada é mais dura e mais rígida que a matriz. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. A matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, que suportam uma fração da carga. O grau de reforço do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula. Como exemplo desse grupo, podemos citar o cermeto e o concreto (CALLISTER JR; RETWISH, 2012).

Relativamente à contribuição do material de reforço, os compósitos particulados apresentam menor eficiência, dado que o ganho em rigidez e resistência é menor que no caso dos compósitos fibrosos. A sua vantagem reside essencialmente no baixo custo e na melhoria obtida face à resistência das matrizes (FIALHO, 2013).

3.1.2 Compósitos reforçados com fibras

Os compósitos mais importantes tecnologicamente são os que possuem a fase dispersa na forma de uma fibra. Geralmente estes materiais são produzidos objetivando alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Suas características mecânicas não dependem somente das propriedades da fibra utilizada, mas também do grau em que uma carga aplicada é transmitida da matriz para as fibras (CHAWLA, 2009).

Como não existe nenhuma transmissão de carga da matriz para as extremidades da fibra, certo comprimento crítico de fibra é necessário para que haja aumento efetivo na resistência e rigidez do compósito. Fibras que possuem comprimento abaixo do crítico são denominadas descontínuas, e

não conferem melhora significativa na estrutura do compósito, que se comportará essencialmente como particulado (AGARWAL *et al.*, 2006).

Em função do diâmetro da fibra d , da resistência à tração, σ^*f , e da força de ligação entre fibra e matriz (ou da tensão limite de escoamento cisalhante da matriz, o que for menor), F_l , é possível ser calculado o comprimento crítico l_c , que passa a ser um tamanho mínimo para que a fibra possa desempenhar com maior efetividade o reforço em um compósito. (CALLISTER JR, RETWISH, 2012). É obtido através da seguinte equação:

$$l_c = \sigma^*fd/2F_l$$

A orientação das fibras umas em relação às outras, sua concentração e distribuição influenciam significativamente a resistência e outras propriedades dos compósitos reforçados com fibras. Quanto à orientação, é possível um alinhamento paralelo longitudinal das fibras em uma única direção ou uma organização totalmente aleatória. Geralmente, as fibras contínuas são alinhadas, enquanto as fibras descontínuas podem ser alinhadas, orientadas aleatoriamente ou parcialmente orientadas. As melhores propriedades gerais dos compósitos são obtidas quando a distribuição das fibras é uniforme CALLISTER JR; RETWISH (2012). A Figura 1 representa esquematicamente as orientações anteriormente descritas:

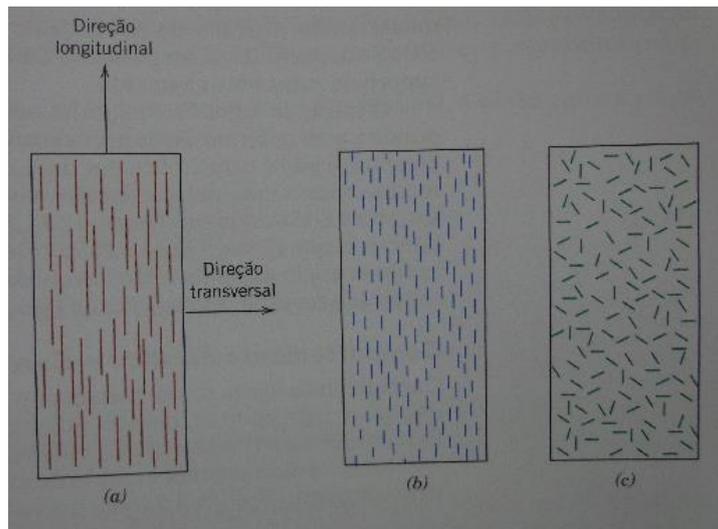


Figura 1: Representações esquemáticas de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas, (b) descontínuas e alinhadas, (c) descontínuas e orientadas aleatoriamente.

Fonte: CALLISTER JR; RETWISH, 2012.

O uso do reforço contínuo da fibra confere um caráter direcional (anisotropia) às propriedades dos compósitos. O material compósito é mais resistente quando a força aplicada é paralela ao sentido das fibras (sentido longitudinal) e menos resistente quando é perpendicular às fibras (sentido transversal). Na prática, a maioria das estruturas está sujeita a cargas complexas, necessitando o uso de fibras orientadas em diversos sentidos (OCHOLA *et al.*, 2004).

3.2 Estudos de compósitos reforçados com fibras vegetais aplicados na construção civil.

O estudo sistemático de fibras com finalidade de reforço de matrizes começou na Inglaterra, em 1970. No Brasil, a pesquisa pioneira coube ao centro de Pesquisa e desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, com início em 1980 (SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

O trabalho do Ceped concentrou-se no estudo do reforço de matrizes de cimento com fibras de sisal e coco, após avaliação das fibras disponíveis. Experimentos relacionados à influência do teor e comprimento das fibras e dos processos de moldagem foram realizados. Pelos resultados foram

desenvolvidos e avaliados componentes habitacionais como telhas tipo canal, calhas, pias de cozinha e pequenas caixas d'água, produzidos por processos simplificados de construção e com matrizes de cimento Portland. A telha de 1,5 m de comprimento e 1 cm de espessura apresentou desempenho excelente à curto prazo, entretanto o Ceped não recomendou seu uso em tetos, até que os estudos sobre a durabilidade do compósito estivessem concluídos, hoje desativados. Os demais componentes são considerados viáveis técnica e economicamente, pois as fibras são solicitadas mais intensamente durante sua fabricação (SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

Tendo como base um projeto de pesquisa desenvolvido pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), NOLASCO *et al.* (1998) elaboraram uma cartilha, onde foi explicada em linguagem clara, a técnica de produção do adobe, um componente para construção com a forma de tijolo ou bloco maciço, feito à base de terra, água e fibra de bananeira. O objetivo do trabalho foi dar um destino adequado aos resíduos de banana e gerar novas possibilidades de emprego e renda para a população, visando à utilização do material desenvolvido em construções, de baixo custo. Segundo a cartilha, a fibra de bananeira deve ser extraída do pseudocaule por meio de uma máquina desfibradora chamada "Periquito", lavada e posta para secar ao sol. O solo e as fibras devem ser misturados secos e a água adicionada até consistência ideal. Os autores afirmam que a adição de fibras de banana confere ao adobe uma resistência à compressão, semelhante ao tijolo maciço e melhora à resistência do material à ação da água.

O professor PHD. Antônio Ferreira Ávila, do departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), trabalha desde 1997 com materiais alternativos capazes de substituir o cimento ou o barro na confecção de tijolos. Em 2002, Ávila desenvolveu um procedimento de obtenção de um tijolo totalmente biodegradável à base de resíduos vegetais como, feijão, milho e café misturados num bioplástico feito de água, glicerina, vinagre e amido de milho. Modelados em forma de paralelepípedos, eles foram criados para revestir fossas sépticas e após dois anos, serão absorvidos pelo solo. As latrinas convencionais de concreto

costumam ser usadas por um ano, sendo vedadas e tornando a região da fossa inutilizável para outra atividade. O trabalho foi um dos 88 escolhidos dentre 2.500 projetos no mundo e premiado pela fundação Bill e Melinda Gates, com a concessão de U\$ 100 mil para a fase inicial de implantação da técnica no Quênia, país africano caracterizado por extrema pobreza. O professor pretende trazer o projeto para o Brasil com o apoio dos governos estaduais e federais (DRAGO, 2011; BRANT, 2011).

SOARES *et al.* (2008) propõem a utilização da fibra de coco verde incorporada à terra crua como material alternativo na construção de tijolos de adobe. Foram confeccionados oito tijolos com fibras no traço de 10% e oito tijolos sem fibra, para referência. Estes foram caracterizados pelo teste de compressão simples, com base nas normas brasileiras: NBR 6460/1983 e NBR 8492/1984. Os resultados mostraram que os tijolos com fibras obtiveram uma melhora de 25% na resistência mecânica em relação aos sem fibra. De acordo com esse teste, os autores inferiram que a utilização da fibra de coco verde é uma alternativa viável economicamente e de interesse social.

Em sua dissertação de mestrado em Engenharia das Estruturas, IZQUIERDO (2011), da Universidade de São Paulo (USP), avaliou a incorporação de fibras de sisal de comprimento de 20 e 40 mm e fração volumétrica de 0,5 a 1% em concretos para alvenaria em blocos estruturais. Foram caracterizados cinco tipos de blocos: sem adição de fibras, com fibras de 20 mm e 0,5% de fração volumétrica (fv), com fibras de 20 mm e 1% de fv, com fibras de 40 mm e 0,5% de fv, com fibras de 40 mm e 1% de fv. As propriedades físicas dos cinco tipos de blocos de concretos como absorção de água, área líquida e massas específicas, cumpriram com os requisitos estabelecidos pelos códigos normativos. Realizou-se ensaios de compressão axial, nos blocos e em prismas e mini paredes produzidas com esses blocos. Realizou-se também o ensaio das unidades sem fibras, tidas como referências. De uma maneira geral, o compósito com fibras de 20 mm e 1% de adição apresentou melhor desempenho, tanto para blocos e prismas como mini paredes.

SANTOS *et al.* (2013), realizaram um estudo de prospecção com a finalidade de avaliar o panorama mundial da produção e utilização de

compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira. Nesse estudo, os autores relacionaram os documentos de patentes depositados sobre essa tecnologia e identificaram quais os países são os principais depositantes, a evolução anual dos compósitos e suas principais áreas de atuação. Os resultados mostraram que de 1995 até outubro de 2012 existe uma tendência ao crescimento de depósitos, principalmente em países desenvolvidos. O maior número de patentes se encontram na China, Coréia, Japão e Estados Unidos. No Brasil, foi identificado um número baixo de documentos patenteados. Foi interessante notar que a maioria das patentes foi depositada por inventores independentes e está associada ao desenvolvimento de novos processos e compósitos para a fabricação de tijolo ecológico de qualidade, com menos custo e menor agressividade para a natureza.

3.3 Fibras naturais e outros estudos

Fibras naturais são subdivididas em fibras animais e vegetais. Fibras vegetais são compostas principalmente de celulose, enquanto as fibras animais têm proteínas em suas composições (ZINI *et al.*, 2011). As fibras vegetais são as mais utilizadas em diversas aplicações para compósitos e serão, portanto, o foco desse estudo.

Os principais constituintes das fibras naturais vegetais são a celulose, a hemicelulose e a lignina. A celulose (Figura 2) é um polímero hidrofílico glucano que consiste de uma cadeia linear de unidades de anidra-glicose ($C_6H_{11}O_5$), que contêm grupos de hidroxila alcoólicos. Estes grupos de hidroxilas formam ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares com a macromolécula entre si e também com outras macromoléculas de celulose ou de moléculas polares. Portanto, todas as fibras naturais são de natureza hidrofílica. Apesar de a estrutura química da celulose de diferentes tipos de fibras naturais serem a mesma, o grau de polimerização é variado. As propriedades mecânicas da fibra são significativamente dependentes do grau de polimerização (MELO FILHO, 2012). A lignina está representada na Figura 3.

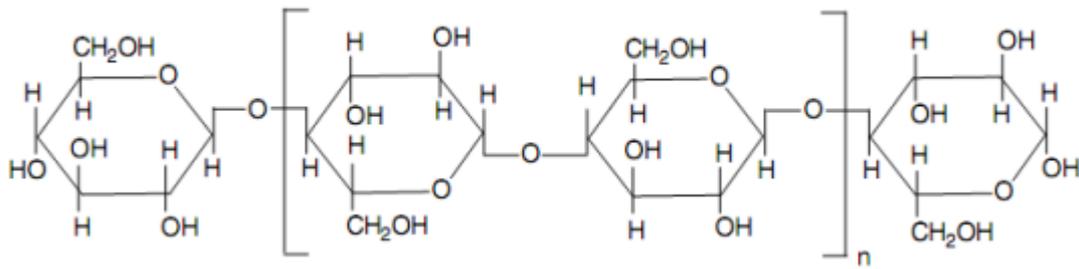


Figura 2- Estrutura da celulose

Fonte: MOHANTY, 2005.

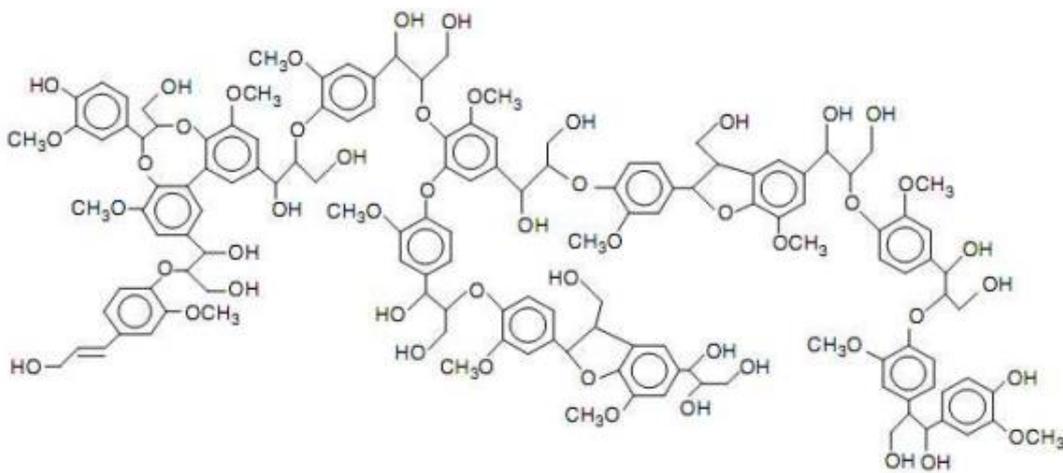


Figura 3- Estrutura da lignina

Fonte: MOHANTY, 2005.

As fibras naturais são cada vez mais utilizadas como reforço em termoplásticos no lugar das tradicionais fibras de vidro e partículas minerais (talco, CaCO_3 e mica) devido às características como: leveza, baixo custo, bons isolamentos acústico e térmico, força específica aceitável, resistência à corrosão e elevada disponibilidade. O fato das fibras naturais serem um recurso renovável, podendo ser recicláveis, gera um baixo impacto ambiental, promovendo o conceito de sustentabilidade (FERNANDES *et al.*, 2013).

No trabalho de TOLEDO FILHO *et al.* (2008), foi analisada a durabilidade de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal, produzidos com uma matriz livre de hidróxido de cálcio. Para o desenvolvimento da matriz,

houve a substituição parcial do cimento Portland por argilas calcinadas (metacaulinita e tijolo moído). Os resultados mostraram que a matriz livre de hidróxido de cálcio evitou o processo de degradação das fibras, as quais mantiveram sua resistência mesmo após 100 ciclos de molhagem e secagem.

JÚSTIZ-SMITH *et al.* (2008), apresentam uma avaliação do uso de três fibras celulósicas naturais da Jamaica para fabricação de materiais compósitos. O bagaço de cana de açúcar, pseudocaule de banana *Michel Gros* e a fibra de coco foram submetidos a testes de caracterização padronizados como teor de cinza e carbono, absorção de água, teor de umidade, resistência à tração, análise elementar e química. A fibra de banana exibiu maior teor de cinza, carbono e conteúdo de celulose, dureza e resistência à tração. A fibra de coco obteve maior conteúdo de lignina.

A viabilidade de compósitos poliméricos de fibras naturais (CFN) da tamareira para aplicação na indústria automotiva foi estudada por AL-OQLA *et al.* (2014). Foram feitas diversas comparações entre as fibras de tamareira e outras conhecidas e utilizadas no setor automotivo, por meio de propriedades técnicas, desempenho, aspectos econômicos e sociais. Na maioria das comparações, a fibra de tamareira foi a melhor selecionada dentre outros tipos.

FERNANDES *et al.* (2013), prepararam compósitos de polietileno de alta densidade preenchidos com pó de cortiça e fibras de coco curtas, em duas proporções, com a principal finalidade de melhorar o desempenho mecânico. Para o preparo dos compósitos utilizou-se uma extrusora dupla-roscas, seguido por processo de moldagem à compressão. Como agente de acoplamento, utilizou-se anidrido maleico, para uma melhor adesão fibra-matriz. Resultados mostraram que a adição de 10% em massa de fibra de coco, em comparação com o não reforçado a base de cortiça (50/50 % m/m) aumentaram o módulo de elasticidade e a resistência à tração. Os autores concluem que fibras de coco curtas, distribuídas aleatoriamente, podem ser utilizadas como reforço em materiais compósitos à base de cortiça e polietileno de alta densidade.

Compósitos com matriz de epóxi e reforço de fibras de celulose de bambu foram estudados por LU *et al.* (2013). Avaliaram-se os efeitos nas

propriedades mecânicas em compósitos com fibras tratadas com solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e com silano (SiH_4) sendo o agente de acoplamento. A Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IR) foi utilizada para analisar a estrutura química das fibras de celulose antes e depois de modificações. O tratamento das fibras melhorou os testes de resistência à tração e alongamento na ruptura, sendo que as fibras tratadas com silano foram superiores aos testes. Com relação aos mecanismos de modificação de celulose das fibras tratadas, a solução de NaOH dissolveu parcialmente a lignina e celulose amorfa, resultando na divisão das fibras, formando uma efetiva adesão superficial. O aparecimento de Si-O-C e Si-O-Si, na superfície da celulose, mostrou que a melhoria nas propriedades mecânicas ocorreu devido às ligações químicas entre a celulose e o epóxi acoplado com o silano.

3.4 Poli (3-Hidroxitirato)- PHB

Atualmente, várias alternativas têm sido procuradas no intuito de minimizar o impacto ambiental causado por polímeros convencionais. Para contornar esse problema, há diversos estudos visando à substituição parcial dos plásticos convencionais por plásticos biodegradáveis, tendo em vista que esses últimos sofrem degradação, quando expostos ao meio ambiente e submetidos a diversos tipos de microrganismos (CARASCHI et al., 2002).

O PHB, um termoplástico biodegradável, sintetizado por fermentação submersa a partir de matérias-primas renováveis, tem despertado o interesse científico, tecnológico e industrial em diversos países, e dentre eles, o Brasil, uma vez que a matéria-prima básica para a sua produção é a cana de açúcar. No intuito de melhorar as propriedades mecânicas do PHB e reduzir o seu custo, a utilização de fibras naturais têm sido muito exploradas (MACHADO, 2008).

O PHB é um polímero isotático perfeito, com um elevado grau de cristalinidade, consideravelmente rígido e duro, com uma resistência à tração comparável com a do polipropileno isotático e com uma temperatura de fusão entre 160 e 180°C (ZINN, 2001). Pertencente quimicamente à classe dos poliésteres de ácidos alcanóicos (PHA), o PHB (Figura 4) possui alta regularidade de cadeia polimérica linear e elevado peso molecular. Sua

massa molar varia entre 10.000 a 30.000 g.mol⁻¹, dependendo do microrganismo, da fonte de carbono e das condições de purificação (MENDES, 2009).

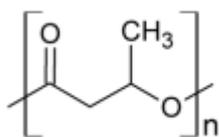


Figura 4 – Estrutura do poli (3-hidroxidiburato), PHB.

Fonte: COIMBRA, 2010

É importante ressaltar que o PHB apresenta boa resistência ao vapor da água e à umidade, além de ser estável sob circunstâncias de armazenamento normais e durante o seu uso, podendo durar mais de quatro anos em prateleiras e armários. Entretanto, sofre biodegradação em ambientes ricos de bactérias, transformando-se em gás carbônico e água, sem a geração de resíduos tóxicos. Sua decomposição química por meios biológicos depende de uma série de fatores como atividade microbiana do ambiente (HUANG *et al.*, 1990 *apud* CARASHI *et al.*, 2002).

3.5 O óleo de mamona

A aplicabilidade do óleo extraído da mamona (também chamado de óleo de rícino), da família *Ricinus communis*, é conhecida desde a era colonial, onde era usado para lubrificar os engenhos de cana-de-açúcar. Atualmente, o óleo de mamona tem sido extensivamente utilizado para fins industriais, devido às suas características físico-químicas, uma vez que suporta grandes variações de temperatura (SCHNEIDER, 2002).

O óleo derivado da mamona é considerado o mais denso e viscoso de todos os óleos, pois chega a ser 10 vezes mais viscoso que os demais. O grupo hidroxila confere ao composto estabilidade e alta viscosidade, ao contrário de outros óleos vegetais, que a perdem em altas temperaturas (COSTA *et al.*, 2008).

O óleo de rícino juntamente com os óleos de soja, canola e girassol são os mais empregados em formulações biodegradáveis e lubrificantes. Estes são

empregados em fluidos hidráulicos, compressores, transformadores e outros (SCNEIDER, 2002).

O óleo de mamona possui uma grande versatilidade química, podendo participar de diversas reações, devido à presença dos grupos hidroxila, carboxila e ligações duplas de seu constituinte principal: triglicéride de ácido ricinoleico (NETO, 2008). As Figuras 5 e 6 mostram a estrutura do triglicéride de ácido ricinoleico e sua versatilidade química, respectivamente:

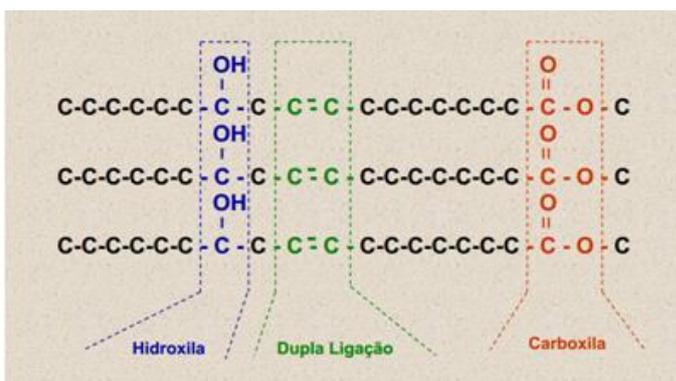


Figura 5: Triglicéride do ácido ricinoleico



Figura 6: Versatilidade química do triglicéride do ácido ricinoleico.

3.6 Técnicas de caracterização

3.6.1 Análise de absorção de água

Essa análise verifica o percentual de água absorvido pelo bloco cerâmico, obtido a partir da diferença entre a massa seca e a massa úmida da amostra (INMETRO, 2001).

Para a realização desse ensaio é necessário que haja uma balança com capacidade de 10 kg e sensibilidade de 1 g; estufa capaz de manter a temperatura entre 105 e 110° C; tanque de imersão para submergir os corpos de prova em água na temperatura ambiente (NBR 8492, 1984).

Ainda de acordo com a NBR 8492 (1984), são necessários três corpos de prova para essa análise. O corpo de prova deve ser seco em temperatura entre 105 a 110° C até massa constante, obtendo-se assim a massa seca do tijolo. O mesmo tijolo é imerso em água por 24 horas. Após retirá-lo da água, ele é enxuto superficialmente em um pano úmido (antes de 3 minutos) e então, pesado.

A NBR 8491 (1984) dita que as amostras não devem apresentar a média dos valores de absorção de água maior do que 20%, nem valores individuais superiores a 22%.

De acordo com o INMETRO (2001) paredes de tijolos com alta absorção de água revelam problemas na argamassa de reboco, pois a água existente na composição da argamassa é absorvida, resultando em uma massa seca sem poder de fixação. O parâmetro utilizado pelo INMETRO (2001) é que a absorção não deve ser inferior a 8%, nem superior a 25 %. Valores superiores a 25% indicam que as paredes construídas com esses tijolos podem sofrer aumento de carga quando expostos à chuva.

TANGO (1994) já havia relacionado à absorção de água à permeabilidade da parede à água de chuva e durabilidade dos blocos.

3.6.2 Termogravimetria (TGA)

Segundo a definição de IONASHIRO *et al.* (1980), a termogravimetria (TGA) é a técnica de análise térmica em que a variação de massa na amostra (perda ou ganho de massa) é determinada como uma função da temperatura e/ou tempo, enquanto a amostra é submetida a uma programação controlada de temperatura.

A Termogravimetria derivativa (DTG), nada mais é do que um arranjo matemático, no qual a derivada da variação de massa em relação ao tempo (dm/dt) é registrada em função da temperatura ou tempo. Em outras palavras, a DTG é a derivada primeira da TGA (DENARI; CAVALHEIRO,

2002). A Figura 7 mostra curvas TGA ideal e prática e suas respectivas curvas DTG:

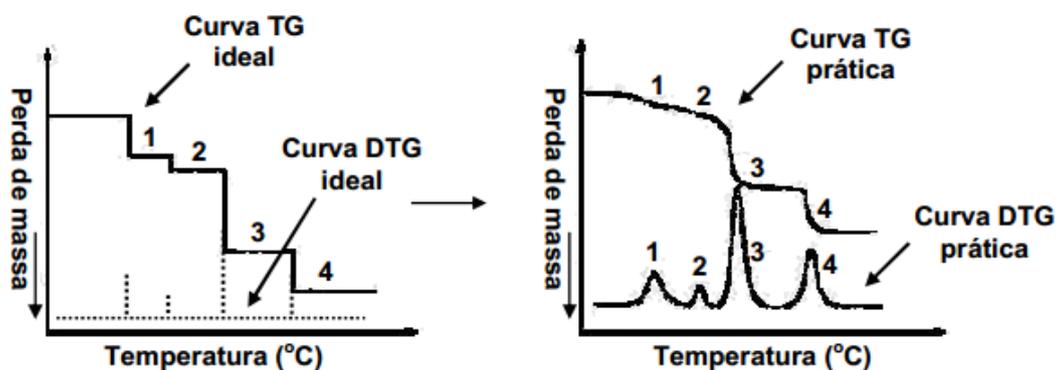


Figura 7: Figura representativa de uma curva TG ideal e uma curva TG prática, e suas respectivas curvas DTG.

Fonte: DENARI; CAVALHEIRO, 2002.

Os equipamentos de termogravimetria variam muito de tipo, qualidade, sensibilidade, precisão e exatidão. Contudo, de forma genérica podem ser descritos por acoplamento de um forno onde fica o cadinho, no qual se coloca a amostra, e que através de um suporte, ou sistema de suspensão, é acoplado a um sistema de medida de massa (balança). As pesagens podem ser feitas por um elemento sensor que detecta qualquer desvio do travessão que constitui o braço da balança (como feixes luminosos atingindo fotocélulas, por exemplo). Outra forma de detecção da variação de massa se dá pela contração ou o alongamento de uma mola helicoidal de precisão, cujo movimento é transmitido ao núcleo de um transformador diferencial (CASTELLÓ, 2009).

Os resultados das curvas de variação de massa versus temperatura possuem vários sinônimos, tais como: curva termólise, curva pirólise, termograma, curva de análise termogravimétrica; assim sugere-se curvas(s) termogravimétricas(s). Essas curvas apresentam informações sobre estabilidade térmica e composição de algum composto intermediário que pode ter sido formado e ainda a composição de resíduos, se houver (RIBEIRO, 2009).

A estabilidade térmica é definida como a capacidade do material, durante um processamento térmico, em manter suas propriedades o mais próximo possível de suas características originais. Com isso, necessita ser considerada em termos do ambiente imposto à substância e das funções que ela executar (RIBEIRO, 2009).

A partir do ensaio termogravimétrico podem ser observados fenômenos físicos, tais como, sublimação, vaporização, adsorção, dessorção e fenômenos químicos, como, por exemplo, as reações de decomposição térmica, que podem envolver processos oxidativos ou de redução (WENDLANT, 1986).

A termogravimetria é uma técnica muito utilizada na caracterização do perfil de degradação de polímeros e de outros tantos materiais. A exposição à temperatura elevada pode, algumas vezes, alterar a estrutura química e, por consequência, as propriedades físicas e químicas dos materiais. Portanto, a curva de degradação térmica, em condições não isotérmicas, mostra o perfil de resistência ou instabilidade térmica que o material apresenta quando submetido a uma variação programada de temperatura (BARBOZA, 2009).

Os fatores que podem influenciar a curva de variação de massa da amostra são classificados em duas categorias. Fatores relacionados com o equipamento e a característica da amostra. As condições instrumentais são: atmosfera do forno, composição do conteúdo da amostra, geometria do forno e do amostrador, razão de aquecimento, sensibilidade do mecanismo da balança. Os fatores relacionados à característica da amostra são: calor de reação, condutividade térmica, empacotamento da amostra, natureza da amostra, solubilidade do gás gerado na atmosfera e tamanho de partícula (MOTHÉ, 2002).

Os cadinhos usados em análise termogravimétrica são feitos de vários materiais, recaindo sobre os de platina ou de alumina a preferência dos analistas. Esses materiais são inertes à maioria dos gases e materiais geralmente analisados, além de poderem ser usados sem alteração de suas características em análises até 1600° C (CASTELLÓ, 2009).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Desenvolvimento dos corpos de prova (CP)

4.1.1 Materiais

O Pseudocaule de bananeira foi coletado na região da Pampulha, Belo Horizonte- MG. A vinhaça e o melaço foram cedidos pelas empresas: Associação das Indústrias Sucroenergética de Minas Gerais (SIAMIG), localizada em Belo Horizonte - MG; Agroindustrial Santa Juliana S/A, localizada na zona rural de Santa Juliana - MG; AGROPÉU (Agroindustrial de Pompéu S/A), localizada em Pompéu – MG; ALCANA – Destilaria de Álcool Nanuque S/A, localizada em Nanuque – MG e Bioenergética Aroeira LTDA – Usina Aroeira, localizada na zona rural de Tupaciguara – MG. A bica corrida foi cedida pela Divisão de Reciclagem de Entulho da Construção Civil (DVREC), em Belo Horizonte- MG. O pó de MDF foi cedido pelas empresas Cedrus de Ubá Moveleira, localizada em Ubá–MG; Indústria de Móveis Apolo e Itatiaia Móveis, localizadas em Santa Luzia–MG. O PHB foi cedido pelo Departamento de Química do CEFET-MG.

O amido de milho, o ácido bórico, o gesso, o óleo de mamona foram obtidos comercialmente.

O ácido bórico foi adicionado com a finalidade de inibir o crescimento de fungos, tendo conhecimento de que a presença de matéria orgânica e açúcar são propícios à proliferação destes microrganismos. O amido de milho foi utilizado como espessante, para proporcionar maior consistência da massa do material. O gesso foi adicionado para dar liga ao material. (MUNHOZ, 2013).

O óleo de mamona e o PHB foram adicionados objetivando a diminuição de absorção de água do compósito preparado.

4.1.2 Preparo dos corpos de prova

Os corpos de prova foram preparados no Laboratório de Manipulação Química, no departamento de Engenharia Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Foram desenvolvidos cinco tipos de corpos de prova, a saber: (i) compósitos com as composições

exatas da Tabela 1; (ii) com 30% m/m a menos de MDF; (iii) com 30% m/m a mais de bica corrida; (iv) com incorporação de 10 mL de óleo de mamona; (v) com incorporação de PHB, seguindo as mesmas proporções para pó de gesso e MDF (mostradas na Tabela 1). A bica corrida e o pó de MDF passaram por uma peneira de 48 MESH, com a finalidade de aumentar a superfície de contato dos materiais e de padronizar o tamanho das partículas inseridas no compósito. A Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3, Tabela 4 e Tabela 5 mostram as quantidades de matéria-prima, utilizadas para o desenvolvimento dos cinco tipos de compósitos: (i), (ii), (iii), (iv), (v), respectivamente.

Tabela 1- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (i)

Material	Quantidade(g)	Proporção utilizada para cada 60g da mistura anterior (cola resultante)	
		Material	Quantidade(g)
Pseudocaule de bananeira	200		
Água	100	Bica Corrida	10
Melaço	140	Pó de MDF	5
Vinhaça	35	Gesso	5
Amido de milho	10		
Ácido bórico	10		

Tabela 2- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (ii)

Material	Quantidade(g)	Proporção (em g) utilizada para cada 60g da mistura anterior (cola resultante)	
Pseudocaule de bananeira	200	Material	Quantidade(g)
Água	100	Bica Corrida	10
Melaço	140	Pó de MDF	5 – (30% <i>m/m</i>)
Vinhaça	35	Gesso	5
Amido de milho	10		
Ácido bórico	10		

Tabela 3- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (iii)

Material	Quantidade(g)	Proporção (em g) utilizada para cada 60g da mistura anterior (cola resultante)	
Pseudocaule de bananeira	200	Material	Quantidade(g)
Água	100	Bica Corrida	10 + 30 % <i>m/m</i>
Melaço	140	Pó de MDF	5
Vinhaça	35	Gesso	5
Amido de milho	10		
Ácido bórico	10		

Tabela 4- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (iv)

Material	Quantidade(g)	Proporção utilizada para cada 60g da mistura anterior (cola resultante)	
Pseudocaule de bananeira	200	Material	Quantidade(g)
Água	100	Bica Corrida	10
Melaço	140	Pó de MDF	5
Vinhaça	35	Gesso	5
Amido de milho	10	Óleo de mamona	10(ml)
Ácido bórico	10		

Tabela 5- Quantidade de cada matéria-prima para o compósito (v)

Material	Quantidade(g)	Proporção utilizada para cada 60g da mistura anterior (cola resultante)	
Pseudocaule de bananeira	200	Material	Quantidade(g)
Água	100	Bica Corrida	10
Melaço	140	Pó de MDF	5
Vinhaça	35	Gesso	5
Amido de milho	10	Pó de PHB	5
Ácido bórico	10		

Os procedimentos para o preparo dos cinco tipos de corpos de prova estão explicitados a seguir:

(i) Amostra com a composição exata da Tabela I:

As fibras do pseudocaule da bananeira foram trituradas com água de torneira, utilizando-se um liquidificador convencional. Adicionou-se melão, vinhaça, amido de milho e ácido bórico. A mistura ou cola resultante foi aquecida até ebulição e, seguindo a proporção descrita na Tabela 1, adicionou-se bica corrida, pó de MDF e gesso.

(ii) Amostra com 30 % m/m a menos de pó de MDF:

O procedimento realizado foi o mesmo da amostra com a composição exata da Tabela I, entretanto, adicionou-se 30% m/m a menos de pó de MDF (Tabela 2).

(iii) Amostras com 30 % m/m a mais de bica corrida:

O procedimento realizado foi o mesmo com a composição exata da Tabela I, no entanto, foram adicionados 30 % m/m a mais de bica corrida (Tabela 3)

(iv) Amostra com adição de 10 mL de óleo de mamona:

O procedimento realizado foi o mesmo da amostra com composição exata da Tabela I, entretanto, foram adicionados 10 mL de óleo de mamona na mistura final (Tabela 4).

(v) Amostra com pó de PHB:

O procedimento realizado foi o mesmo da amostra com a composição exata da Tabela I, entretanto, adicionou-se à mistura final, o pó de PHB com a proporção equivalente ao pó de MDF e gesso (Tabela 5).

A mistura final foi homogeneizada manualmente e colocada em moldes cilíndricos. Os corpos de prova foram secos em estufa a 60°C durante 24 horas. Então, estes foram retirados dos moldes e recolocados na estufa a 105 °C durante 48 horas.

4.2 Caracterização dos corpos de prova

4.2.1 Análise de absorção de água

Três corpos de prova de cada tipo de amostra foram necessários para a execução desse ensaio. Realizou-se a metodologia descrita pela NBR 8492 (1984) para tijolos de solo-cimento. Os corpos de prova foram colocados

para secar em estufa até constância de massa e pesados, após atingirem temperatura ambiente. A massa seca (m_1) do tijolo, foi obtida em gramas. Os corpos de prova foram imersos em água durante 24 horas. Em seguida, foram retirados da água, enxutos superficialmente com um pano úmido e pesados antes de transcorrer 3 minutos. Após esse processo foi obtida a massa saturada (m_2) do tijolo, em gramas.

A fórmula seguinte representa a diferença percentual entre a massa saturada e a massa seca do tijolo correspondendo à capacidade de absorção de água.

$$\%A = (m_2 - m_1 / m_2) \times 100$$

Sendo, m_1 a massa seca e m_2 a massa saturada.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em seu trabalho, MUNHOZ (2013) verificou que a ausência do pó de MDF na composição do compósito comprometeu significativamente a sua resistência mecânica. Apesar de o MDF prejudicar a estabilidade térmica e aumentar a absorção de água do material, ele se faz necessário no preparo do compósito. Assim, buscou-se reduzir a quantidade desse constituinte à mistura, como sugerido. A redução escolhida foi de 30% m/m.

MUNHOZ (2013) concluiu ainda que a bica corrida confere estabilidade térmica ao material e a sua ausência aumenta a absorção de água do compósito. Dessa forma, foram produzidos corpos de prova com 30% m/m a mais desse resíduo para averiguar se ocorreria uma menor absorção de água das amostras.

A utilização do PHB deveu-se ao fato do mesmo se tratar de um polímero de caráter hidrofóbico, biodegradável e que não gera resíduos tóxicos em sua decomposição.

O óleo de mamona foi incorporado aos componentes da mistura por se tratar de um composto constituído em sua maior parte por triglicérides do ácido ricinoleico que possui grande versatilidade química, devido à presença dos grupos hidroxila, carbonila e das duplas ligações.

5.1 Compósitos obtidos

Os corpos de prova obtidos possuem coloração marrom e têm um aspecto heterogêneo em sua superfície. Particularmente, os corpos de prova contendo pó de PHB, são mais heterogêneos. É possível verificar claramente este componente distribuído em toda superfície do compósito, concentrado ainda mais nas bordas. A Figura 8 mostra os cinco tipos de corpos de prova obtidos.

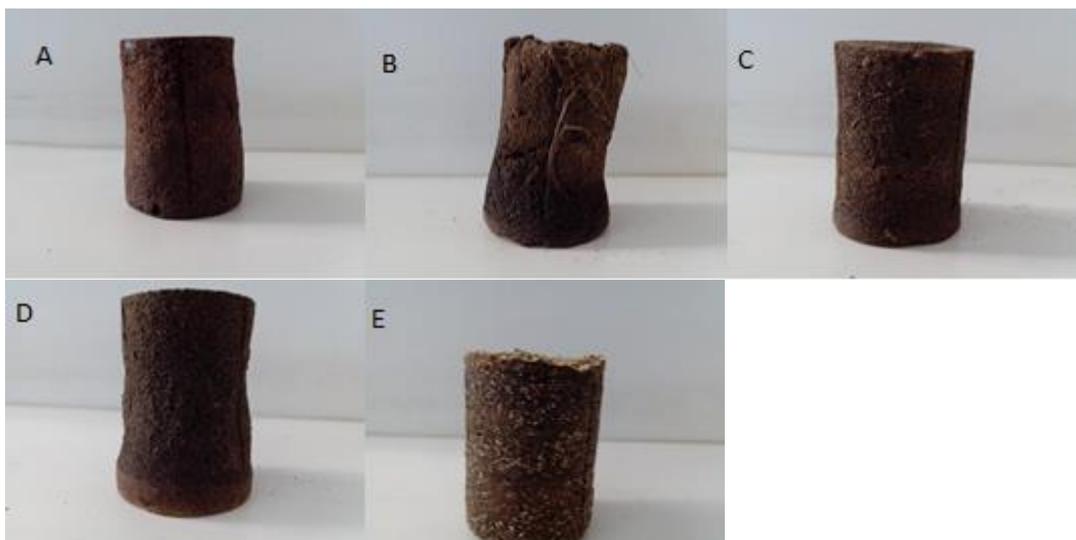


Figura 8– Cinco tipos de compósitos obtidos: (A) com composição exata da tabela I; (B) com 30% m/m a menos de MDF; (C) com 30% m/m a mais de bica corrida; (D) com 10 ml de óleo de mamona; (E) com pó de PHB na proporção de gesso e MDF.

5.2 Caracterização dos corpos de prova

5.2.1 Análise de Absorção de água

Os resultados do ensaio de absorção de água foram feitos em três corpos de prova de cada amostra e são mostrados na Tabela 6:

Tabela 6: Análise de absorção de água para as cinco amostras do compósito

Amostra	Absorção de água (%)				
	Com composição exata da tabela 1	Com 30% m/m a menos de MDF	Com 30% m/m a mais de bica corrida	Com 10 mL de óleo de mamona	Com pó de PHB na proporção de gesso e MDF
média	49,26	-	-	59,54	-
desvio	3,38	-	-	5,56	-

Os corpos de prova das amostras com 30 % m/m a menos de pó MDF; com 30 % m/m a mais de bica corrida; com pó de PHB na proporção de gesso e MDF não suportaram o ensaio durante 24 horas, de acordo com a norma brasileira, e desmembraram, não sendo possível o cálculo proposto para essa análise. Pode-se aferir que as amostras não atendem a especificação da NBR 8492 e não são conformes.

No trabalho de MUNHOZ (2013), os compósitos sem pó de MDF obtiveram os menores índices absorção de água (72%) durante 1 hora de imersão, entretanto os valores obtidos ultrapassaram muito a especificação da norma.

Esperava-se que com a redução de 30% m/m de pó MDF houvesse diminuição de absorção de água. Entretanto, isso não ocorreu. A redução do MDF pode ter diminuído a adesão entre a matriz e o reforço. Os corpos de prova ao serem colocados na água liberaram gás, indicando a presença de poros, o que favoreceu a absorção de água.

O aumento de 30% m/m de bica corrida também provocou saturação de água nos corpos de prova. Entretanto, de acordo com o ensaio de termogravimetria feito por MUNHOZ (2013), a amostra sem bica corrida foi a menos estável termicamente e com maior índice de absorção de água. Verifica-se, portanto, a importância desse material na proporção correta.

Os melhores resultados obtidos foram da amostra com a composição exata da Tabela 1 ($49,25 \pm 3,38\%$), representando uma maior aproximação com o parâmetro de 22% de absorção de água exigido pela norma. Esse fato indica que uma simples seleção da granulometria dos componentes e consequentes aumentos de suas superfícies de contato é capaz de melhorar as propriedades do material produzido.

Os índices obtidos pelo compósito com óleo de mamona mostraram que houve um aumento de absorção de água ($59,545 \pm 5,56$), em comparação com os índices da amostra com a composição exata da Tabela 1 ($49,25 \pm 3,38\%$). Apesar do triglicéride de ácido ricinoleico (principal constituinte do óleo de mamona) possuir cadeia longa alifática (Figura 9), as hidroxilas e carbonilas presentes em sua estrutura podem ter feito ligações de hidrogênio com a água, aumentando a absorção de água do compósito, conforme verificado.



Figura 9 – Estrutura Química do triglicéride do Ácido Ricinoleico.

Fonte: CAVALCANTE et al., 2010.

Observa-se claramente que o pó de PHB não obteve uma boa adesão à matriz pelo fato de ele se concentrar nas bordas do compósito (figura 10). O PHB possui alto caráter apolar e é hidrofóbico, enquanto as fibras vegetais e o MDF são hidrofílicos. Por esse motivo, houve fraca adesão interfacial entre a fibra e a matriz, provocando a presença de vazios e a saturação de água nos corpos de prova. A Figura 11 mostra o corpo de prova com pó de PHB, ao ser retirado da água.



Figura 10 – Fotografia da amostra de PHB para visualização da borda do compósito.



Figura 11 – Fotografia do compósito com pó de PHB ao ser retirado da água.

KOENIG *et al.* (2002) ao estudarem um compósito de plástico-madeira afirmam que a baixa densidade dos resíduos de madeira é um dos fatores para que ocorram inconsistências no produto, como a separação de materiais, acarretando em compósito de péssima qualidade.

O PHB, por ser um poliéster alifático, é suscetível a hidrólise. Como o meio do compósito era ácido, devido à presença de vinhaça e ácido bórico, pode ter ocorrido degradação ácida do PHB mudando as propriedades do material e interferindo na análise de absorção de água.

Uma sugestão simples para tentar diminuir a absorção de água é diminuir a quantidade de fibras de banana na amostra.

O tratamento alcalino das fibras consiste numa outra proposta, retira parcialmente a lignina e a hemicelulose. Esta última é a maior responsável por absorção de água das fibras e é solúvel em baixíssimas concentrações de álcali, pois têm em sua constituição diferentes unidades de açúcares. (SILVA, 2013)

Outra sugestão é prensar os corpos de prova em moldes, de forma que haja redução de vazios e poros dos tijolos.

Caso se queira manter um polímero na matriz, é recomendável a adição de um agente de acoplamento que favoreça a adesão fibra-matriz, como anidrido maleico ou silano. De acordo com EL-SABAGAH (2014), o anidrido maleico retira os grupos hidroxilas, abundantes na celulose e os insere no polímero, melhorando a interface do compósito. LU *et al.* (2013) ao estudar compósitos de bambu com matriz epóxi, mostra por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e Espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IR) que o silano forma ligações entre a fibra matriz que favorece a resistência mecânica do compósito e melhora a interface fibra-matriz.

Apesar dos resultados de absorção de água obtidos para os compósitos feitos com a composição exata da Tabela I terem melhorado em relação ao compósito desenvolvido por MUNHOZ (2013), o tijolo ainda não se enquadra nos parâmetros da norma brasileira.

Sugere-se a introdução das técnicas de MEV E IR para auxiliar em estudos posteriores visando à redução de absorção de água no tijolo

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para o ensaio de absorção de água para os cinco tipos de corpo de prova não se enquadraram nos limites estabelecidos para tijolos. Esse fato reflete a importância de estudos posteriores, objetivando a diminuição do percentual de água das amostras.

Recomenda-se prensar as amostras no molde para diminuir a quantidade de poros do compósito. Outra possibilidade é reduzir a quantidade de fibras do compósito.

O tratamento alcalino das fibras proposto em várias pesquisas deve ser explorado, bem como a adição de um agente de acoplamento, caso seja utilizado matriz polimérica.

Como os compósitos foram desqualificados, de acordo com o parâmetro de absorção de água, com base na NBR 8492/1984, os demais ensaios de caracterização do material foram considerados dispensáveis nessa etapa do trabalho.

Entretanto, o fato dos compósitos obtidos com a composição exata da Tabela 1, apresentarem relativa melhora com relação aos de MUNHOZ (2013) é motivador.

A introdução do óleo de mamona não trouxe melhoras, nem custo-benefício ao compósito. Sugere-se incorporar óleos vegetais de mais baixo custo e fácil acesso.

Salienta-se ainda, a importância de novos estudos de compósitos utilizando resíduos em sua composição, com matrizes menos complexas.

O trabalho prático e de pesquisa desenvolvido neste estudo possibilitou um maior entendimento sobre os compósitos, bem como algumas das técnicas de caracterização para esse tipo de material. Ficou clara a importância de um estudo prévio das propriedades isoladas de cada material que se pretende agregar ao compósito e do planejamento dos processos de produção para se alcançar as características almejadas no produto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-OQLA, F. M.; SAPUAN, S. M.; Natural fiber reinforced polymer composites in industrial applications: feasibility of date palm for sustainable automotive industry. **Journal of Cleaner Production**. v. 66, p. 347-357, 2014.

AGARWAL, B. D., BROUTMAN, L. J., CHANDRASHEKHARA, K., **Analysis and Performance of Fiber Composites**, 3a ed. Wiley, Hoboken, NJ, 2006

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8491**: Tijolo maciço de solo-cimento – Especificações. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8492**: Tijolo maciço de solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção d'água. Rio de Janeiro, 1984.

BARBOZA, J. S. **Caracterização de compósitos magnéticos macios desenvolvidos através da metarlugia do pó aplicados a núcleos de máquinas elétricas**. Dissertação (Doutorado em Processos de Fabricação)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

BRANT, A. C. Projeto de tijolo ecológico é premiado pela Fundação Bill e Melinda Gates. **Correio Braziliense**, Brasília, 04 de maio de 2011, Disponível em: <http://site2.confea.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?from_info_index=951&inford=12341&pai=8&sid=79&sub=nil>. Acesso em 21 jul. 2014.

CALLISTER JUNIOR, W. D. .; RETHWISH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros técnicos e científicos, 2012.

CARASCHI, J. C; RAMOS, U. M.; LEÃO, A. L; Compósitos biodegradáveis de polihidroxibutirato (PHB) reforçado com farinha de madeira: propriedades e degradação. **Acta Scientiarum**. v.24, n.6, p. 1609-1614, 2002.

CASTELLÓ, M. L. **Estudo da glicerina por análises térmicas**. 2009. 85p. Dissertação (Pós-Graduação em Tecnologias de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CAVALCANTE, K. S. B; PENHA M. N. C; MENDONÇA, K. K. M; LOUZEIRO, H. C.; VASCONCELOS, A. C. S; MACIEL, A. P.; SOUZA, A. G.; SILVA, F. C. Optimization of transesterification of castor oil with ethanol using a central composite rotatable design (CCRD). **Fuel**. v.89, n.5, p. 1172-1176, 2010.

CHAWLA, K.K. **Composites, Materials Science and Engineering**. 3ª ed, New York: Springer, 2009.

CHERTMAN, M. **Secagem de papel produzido a partir do pseudocaule de bananeira**. 2007. 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

COIMBRA, P. M. A; **Preparação e Caracterização de Sistemas de Libertação Controlada de Fármacos com base em Polímeros de Origem Natural**. 2010. 242p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Química)- Universidade de Coimbra, Coimbra.

COSTA T. L.; MARTINS M. E. D; BELTRÃO N. E. M; MARQUÊS L. F; PAIXÃO. F. J. R. Características do óleo de mamona da Cultivar BRS-188 Paraguaçu. **Pesquisa Aplicada e Agrotécnica**. v.1; n.1; p. 93-99, 2008.

DANTAS FILHO, F. P. **Contribuição ao estudo para a aplicação do pó de serra da madeira em elementos de alvenaria de concreto não estrutural**. 2004. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DRAGO, C. Tijolo hoje, adubo amanhã. **Ciência hoje**, Rio de Janeiro, v.48, n.284, p.60, dezembro. 2011.

DENARI, G. B; CAVALHEIRO, E. T. D; **Princípios e aplicações de análise térmica**. São Carlos: IQSC, 2012.

EL- SABAGAH, A. Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behavior. **Composites Part B: Engineering**. v. 57, p. 126-135, 2014.

FIALHO, J.P. C. **Materiais Compósitos: Apostila** 2013. Disponível em: <http://home.fa.utl.pt/~jfialho/9Aula_Comp%C3%B3sitos.pdf>. Acesso em: 01 de jun. 2014.

FERNANDES, E. M.; CORRELO, V. M.; MANO J. F.; REIS, R. L. Novel cork-polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: Effect of fibre loading and coupling agent addition. **Composites Science and Technology**. v. 78, p. 56-62, 2013.

GIBSON, R. R. **Principle of Composite Material Mechanics**. 1ª ed. New York: Mc Graw Hill. 1994.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Blocos cerâmicos (Tijolos)**. 2001. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/tijolo.asp#ensaios>> Acesso em 27 de junho de 2013.

IONASHIRO, M. A.; GIOLITO, I. Nomenclatura, padrões e apresentação dos resultados em análise térmica. **Cerâmica**. v.26, n. 121, p.17-24, 1980.

JÚSTIZ-SMITH, N. G.; VIRGO JUNIOR, G.; BUCHANAN, E. V. Potential of Jamaican banana, coconut coir and bagasse fibres as composite materials. **Materials Characterization**. v. 59, n. 9, p. 1273-1278, 2008.

KOENIG, K. M.; SYPKENS, C. W. Wood- plastic composites for market share. **Wood and Wood Products**. v.107, n.5, p. 49-58, 2002.

LU, T.; JIANG, M.; JIANG, Z.; HUI, D.; WANG, Z.; ZHOU, Z. Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose/epoxy composites. **Composites Part B: Engineering** v. 51, p. 28-34, 2013.

MACHADO, M. L. C. **Estudos das propriedades mecânicas e térmicas do polímero biodegradável poli-3-hidroxitirato (PHB) e compósitos PHB/ pó de madeira**. 2008. 134p. Tese (Doutorado em Interunidades em Biologia)- Universidade de São Paulo, São Paulo.

MELO FILHO, J. A; **Durabilidade Química e Térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras**

de sisal. 2012, 184p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MENDES, F. M. **Produção e Caracterização de Bioplástico a partir do amido de batata.** 2009, 198p. Dissertação (Mestrado em Físico-Química)- Universidade de São Paulo, São Carlos.

MONTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D.; **Análise térmica dos materiais.** São Paulo: iEditora, 2002.

MUNHOZ, V. C. **Desenvolvimento e Caracterização de Materiais Compósitos para aplicação na Construção Civil.** 2013. 38p. Monografia- Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NETO, S. C. **Usos e aplicações do óleo de mamona.** 2008. Disponível em:

<<http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/mamona/publicacoes/cbm3/palestras/Salvador%20Claro%20Neto.PDF>> Acesso: 24 de maio de 2014.

NOLASCO, A. M.; NOLASCO, A. C.; SOFFNER, M. L. A. P.; SILVA, J. O. **Adobe: como produzir o tijolo sem queima reforçado com fibra de bananeira.** Piracicaba: ESALQ- Divisão Biblioteca de Biblioteca e Documentação, 1998. (Série Produtor Rural, 11).

OCHOLA, R. O.; MARCUS, K.; NURICK, G. N.; FRANZ, T. Mechanical behavior of glass and carbon fibre reinforced composites at varying strain rates. **Composites structures.** v.63, p.455-467, 2004.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. **Compósitos Estruturais- Tecnologia e Prática.** 1ª ed. São Paulo: Artlieber, 2011.

RIBEIRO, M. P. **Aplicação de termogravimetria acoplada à espectrometria de massas para caracterização de petróleo e determinação da curva de evolução de gás sulfídrico.** 2009. 96p. Dissertação (Pós graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SANTOS, A. M. **Estudo de compósito híbridos propileno/fibras de vidro e coco para aplicação em engenharia.** 2006. 76p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SANTOS, W. P. C; SUZART, V. P.; SILVA JUNIOR, N. F. Tendências Tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em documentos de patentes. **Cadernos de prospecção.** v.6, n.1, p-36-44, 2013.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. 144p. Tese (Concurso de livre docência em Engenharia Civil)- Universidade de São Paulo.

SCHNEIDER, R. C. S; **Extração, Caracterização e Transformação do óleo rícino.** 2002. 240p. Tese (Doutorado em Química)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais.** 2003. 157p. Tese (Doutorado em Interunidades de Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade de São Paulo, São Carmo.

SOARES, R. N.; SILVA, A. C.; PINHEIRO, J. S. Tijolos de terra crua estabilizados com fibras de coco verde. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, **Anais...** Rio Branco: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/3765/1/2008_eve_rnsoar.es.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2014.

SOBRINHO L. L; **Desenvolvimento de matriz polimérica para material compósito visando o reforço de dutos de aço.** 2005. 120p. Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TITA, V.; CARVALHO, J.; LIRANI, J. Theoretical and experimental dynamic analysis of fiber reinforced composite beams. **Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering.** vol. 25, n. 3, p. 306-310, 2003.

TOLEDO FILHO, R. R.; SILVA, FAIRBAN, E. M. R.; MELO FILHO, J. A. Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates. **Construction and Building Materials.** v. 66, n. 6, p. 2409-2420, 2009.

WENDLANT, W. W. **Thermal analysis.** 3ª ed. New York: Willey, 1986.

ZINI, E.; SCANDOLA M. Green composites: an overview. **Polym Compos.** v. 32, n. 19, p. 05-15, 2011.

ZINN, M.; WITHOLT, B.; EGLI, T., Occurrence, synthesis and medical application of bacterial polyhydroxyalkanoate. **Advanced Drug Delivery Reviews.** v. 53, n. 1, p. 5-21, 2, 2001.