

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC  
UNIDADE ACADÊMICA EM HUMANIDADES, CIÊNCIA E  
EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS  
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**MARCELO GRYZAK**

**COMPÓSITO SUSTENTÁVEL CASCA DE ARROZ/RESINA DE  
ÓLEO DE MAMONA DE BAIXA DENSIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense UNESC, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Adriano  
Michael Bernardin

**Criciúma, Santa Catarina  
2016**



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G957c Gryczak, Marcelo.

Compósito sustentável, casca de arroz/resina de óleo de mamona de baixa densidade /Marcelo Gryczak ; orientador: Adriano Michael Bernardin. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2016.

106 p : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul  
Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, SC, 2016.

1. Materiais compósitos. 2. Resina de poliuretano. 3. Casca de arroz. 4. Óleo de mamona. 5. Recursos naturais renováveis. I. Título.

CDD. 22<sup>a</sup> ed. 620.118

Biblioteca Rosângela Westrupp – CRB 14º/364  
Biblioteca Central Prof. Eurico Back – UNESC



**MARCELO GRYZAK**

**COMPÓSITO SUSTENTÁVEL CASCA DE ARROZ/RESINA DE  
ÓLEO DE MAMONA DE BAIXA DENSIDADE**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para obtenção do Grau de Mestre em Ciências Ambientais na área de Valorização de Resíduos Sólidos no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense.

Criciúma, 25 de fevereiro de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Adriano Michael Bernadin–Doutor em Engenharia Química -  
(UNESC) - Orientador

Prof. Dr. Jairo José Zocche–Doutor em Ciências - (UNESC)

Prof. Dr. Lucas Domingui- Doutor em Engenharia Química - (IFSC)



Este sonho é nosso, dedico à família  
e minha amada Julia.



## AGRADECIMENTOS

Á Deus, que semeou dentro de mim uma inquietação inesgotável e principalmente vontade de vencer.

À Universidade do Extremo Sul Catarinense e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, pela oportunidade de desenvolver este projeto,

Ao Grupo de Materiais Cerâmicos, amigos que encontrei no mestrado, discentes e docentes, em especial ao Professor Dr. Jairo José Zocche por ter me provocado a desenvolver este projeto.

Ao meu orientador Professor Dr. Adriano Michael Bernardin, pela orientação, confiança e amizade.

Ao órgão financiador CAPES pela concessão da taxa de estudo.

À Imperveg, pela disponibilidade da resina no desenvolvimento deste projeto.

À Brotherwood, pela usinagem das peças e pelo protótipo da armação de óculos.

Agradeço ao meu pai (*in memorian*), pelo amor a ciência, à família e presença eterna.

À minha mãe e meus irmãos por me ensinarem o amor.

À Julia, que nos momentos em que quis voar me catapultou e quando voltei estava de braços abertos. Quando as coisas pareciam difíceis, foi em sua voz que encontrei as palavras de conforto.

À todas as pessoas não citadas, mas que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada.

Caminhei por um sonho, onde em nenhum momento pensei em desistir e qualquer limitação encontrada neste projeto é de minha inteira responsabilidade e covardia.



“Não importa quão estreita a  
passagem, sou o senhor do meu  
destino e o condutor de minha  
alma...”

W. E. Henley



## RESUMO

O atual desenvolvimento acelerado da produção industrial e agrícola tem gerado, intermitentemente, uma grande quantidade de resíduos. Um destes resíduos é a casca de arroz, que representa 20% do volume total do grão produzido. É um material lignocelulósico que pode ser usado como reforço de materiais compósitos. Por sua vez, a resina de poliuretano à base de óleo de mamona é um triglicerídeo extraído da semente, bastante usada em substituição de resinas sintéticas que são mais agressivas ao meio ambiente. Desta forma, o objetivo deste estudo foi obter um compósito aglomerado sustentável à base de casca de arroz e resina de poliuretano de óleo de mamona. As amostras foram obtidas por moldagem a frio segundo um planejamento fatorial tipo  $2^k$ (DoE) sendo a fração volumétrica da matriz/reforço e o volume de moldagem os fatores estudados. O compósito obtido foi ensaiado conforme a NBR 14810 (2013), utilizada para compósitos de média densidade. Foram avaliadas a densidade, teor de umidade, inchamento, absorção de água, resistência à tração perpendicular e resistência à flexão. A NBR 15537 (2007) e a US EPA (1996) foram utilizadas para determinar a toxicidade aguda das amostras, utilizando minhoca da espécie *Eisenia fetida* e sementes de alface *Lactuca sativa*. Os resultados obtidos permitem classificar o compósito como de baixa densidade, com valores inferiores a  $640 \text{ kg/m}^3$  conforme a norma ANSI/A 208.1 (1999). Com relação ao comportamento mecânico, o compósito não atende à norma NBR 14810 (2013) para média densidade, mas atende à norma ANSI/A 208.1 (1999), sendo então classificado como de baixa densidade LD-1 e LD-2. Seu uso é adequado como núcleo para portas.

**Palavras-chave:** Compósitos, sustentabilidade, casca de arroz, resina de mamona.



## ABSTRACT

Nowadays the fast development of industrial and agricultural production has generated, intermittently, a lot of waste. The rice husk, which represents 20% of the total volume of the produced grain, is one example. A lignocellulosic material can be used as reinforcement in composite materials. Polyurethane resin from castor oil is a triglyceride extracted from the seed of castor beans, often used as matrix in place of synthetic resins because the last are most harmful to the environment. Therefore, the aim of this study was to obtain a sustainable agglomerated composite using rice husk and polyurethane resin from castor oil. Samples were obtained by cold pressing according to a 2<sup>k</sup>factorial design (DoE). The matrix/reinforcement volume fraction and the molding volume were the factors studied. The samples were tested according NBR 14810 (2013) for medium density composites. Apparent density, moisture content, swelling, water absorption, tensile strength and flexural strength were evaluated. NBR 15537 (2007) and US EPA (1996) standards were used to determine the acute toxicity of the samples using the *Eisenia fetida* earthworm and *Lactuca sativa* lettuce seeds. The results show that the composite can be classified as low density, with values lower than 640 kg/m<sup>3</sup> according to ANSI/A standard 208.1 (1999). Regarding the mechanical behavior, the composite does not meet the NBR 14810 (2013) standard for medium density, but meets the ANSI/A 208.1 (1999) standard, being classified as low density LD-1 and LD-2. Its use is suitable for door core.

**Keywords:** composites, sustainability, rice husk, castor bean resin.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Principais tipos de painéis compósitos. ....	32
Figura 2: Detalhamento de um grão de arroz. ....	34
Figura 3: Casca de arroz. ....	35
Figura 4: A) <i>Ricinus communis L.</i> , B) Semente da planta. ....	36
Figura 5: Dispositivo de prensagem. ....	40
Figura 6: Mistura para moldagem reforço/matriz. ....	41
Figura 7: Posição para retirada das amostras para os ensaios padronizados. ....	42
Figura 8: Resíduo de processo de planagem e usinagem. ....	44
Figura 9: Pontos de medição no corpo de prova na análise de densidade. ....	45
Figura 10: Ponto de medição de espessura na análise de inchamento. ....	47
Figura 11: Pontos de medição no corpo de prova na análise de tração perpendicular. ....	48
Figura 12: Forma de colocação do corpo de prova nas articulações da máquina universal de ensaios. ....	49
Figura 13: Pontos de medição do corpo de prova para análise da resistência à flexão. ....	50
Figura 14: Forma de colocação do corpo de prova sobre os apoios da máquina universal de ensaios. ....	51
Figura 15: Identificação do clitelo em minhocas <i>Eisenia fétida</i> . ....	52
Figura 16: Amostras para análise de toxicidade com minhocas. ....	54
Figura 17: Amostra com sementes incubadas. ....	55
Figura 18: Amostra com sementes germinadas. ....	56
Figura 19: Resultados de absorção de água do compósito. ....	60
Figura 20: Diagrama de Pareto para a absorção de água (%) para o sistema compósito. ....	62
Figura 21: Gráfico de superfície de resposta para a absorção de água (%) dos compósitos. ....	63
Figura 22: Resultados de densidade para o compósito. ....	65
Figura 23: Diagrama de Pareto para a densidade (kg/m <sup>3</sup> ) para o sistema compósito. ....	67
Figura 24: Gráfico de superfície de resposta para a densidade (kg/m <sup>3</sup> ) dos compósitos. ....	68
Figura 25: Resultados do teor de umidade para o compósito. ....	69
Figura 26: Diagrama de Pareto para a umidade (%) para o sistema compósito. ....	70
Figura 27: Gráfico de médias para a umidade (%) dos compósitos. ....	71
Figura 28: Resultados de inchamento para o compósito. ....	72

Figura 29: Diagrama de Pareto para o inchamento (%) para o sistema compósito.....	74
Figura 30: Gráfico de superfície de resposta para o inchamento (%) dos compósitos. ....	75
Figura 31: Resultados para tração perpendicular para o compósito.....	77
Figura 32: Diagrama de Pareto para resistência à tração perpendicular (kgf/mm <sup>2</sup> ) para o sistema compósito.....	80
Figura 33: Gráfico de médias para resistência à tração perpendicular (kgf/mm <sup>2</sup> ) do compósito. ....	81
Figura 34: Resultados da flexão estática para o compósito. ....	82
Figura 35: Diagrama de Pareto para resistência à flexão estática (MPa) para o sistema compósito. ....	84
Figura 36: Gráfico de superfície de resposta para resistência à flexão estática (Mpa = kgf/mm <sup>2</sup> ) dos compósitos.....	84
Figura 37: Resultados de toxicidade com minhocas <i>Eisenia fetida</i> para o compósito.....	86
Figura 38: Resultados de toxicidade com alface <i>Lactuca sativa</i> para o compósito.....	87
Figura 39: Amostragens dos compósitos. ....	89
Figura 40: Ilustração de porta com núcleo.....	91
Figura 41: Armação de óculos feita com o compósito poliuretano de resina de mamona/casca de arroz.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da resina de poliuretano Imperveg®. ....	39
Tabela 2: Dimensões dos corpos de prova para ensaios padronizados. ....	42
Tabela 3: Matriz experimental tipo fatorial completo $2^2+3$ para o desenvolvimento do compósito de casca de arroz/resina de poliuretano de óleo de mamona .....	43
Tabela 4: Descrição das variáveis dos fatores do DoE.....	43
Tabela 5: Componentes para preparo do solo artificial.....	53
Tabela 6: Amostras para análise de toxicidade com minhocas. ....	53
Tabela 7: Análise de Variância. ....	57
Tabela 8: Matriz experimental $2^2 + 3$ e resultados dos ensaios realizados. ....	59
Tabela 9: Análise de variância (ANOVA) para a absorção de água (%). ....	61
Tabela 10: Absorção média de água do compósito desenvolvido em relação a outros compósitos com fibras naturais. ....	64
Tabela 11: Comparação da diferença de densidade entre amostras com massas equivalentes.....	66
Tabela 12: Análise de variância (ANOVA) para a densidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )..	66
Tabela 13: Análise de variância (ANOVA) para a umidade (%) .....	70
Tabela 14: Análise de variância (ANOVA) para o inchamento (%). ....	73
Tabela 15: Especificação de inchamento por tipos de painéis; NBR 14810 (2013). ....	76
Tabela 16: Resistência à tração perpendicular para diferentes frações de matriz/reforço e mesmo volume de moldagem. ....	78
Tabela 17: Especificação de tração perpendicular por tipos de painéis; NBR 14810 (2013). ....	78
Tabela 18: Análise de variância (ANOVA) para resistência à tração perpendicular ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ). ....	79
Tabela 19: Especificação de tração perpendicular por tipos de painéis; norma ANSI/A 208.1 (1999). ....	81
Tabela 20: Análise de variância (ANOVA) para resistência à flexão estática ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ). ....	83



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	23
2 OBJETIVOS .....	25
2.1 OBJETIVO GERAL .....	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	27
3.1 PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	27
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	29
3.3 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	31
3.4 CASCA DE ARROZ.....	34
3.5 RESINA DE POLIURETANO DE ÓLEO DE MAMONA .....	36
4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	39
4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	39
4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	39
4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL (DoE).....	42
4.4 CORPOS DE PROVA DO RESÍDUO DO PROCESSO.....	43
4.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO.....	44
<b>4.5.1 Densidade .....</b>	<b>45</b>
<b>4.5.2 Teor de umidade.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5.3 Determinação de inchamento durante 24 horas .....</b>	<b>46</b>
<b>4.5.4 Determinação de absorção de água.....</b>	<b>47</b>
<b>4.5.5 Resistência à tração perpendicular .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5.6 Resistência à flexão.....</b>	<b>50</b>
<b>4.5.7 Análise de toxicidade aguda .....</b>	<b>51</b>
4.5.7.1 Ensaio com minhocas <i>Eisenia fetida</i> .....	52
4.5.7.2 Ensaio com sementes de alface <i>Lactuca sativa</i> .....	54
<b>4.5.8 Análise estatística dos resultados .....</b>	<b>56</b>
5 RESULTADOS .....	59
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA COMPÓSITO.....	59
5.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA .....	60
5.3 DENSIDADE.....	64
5.4 TEOR DE UMIDADE .....	68
5.5 INCHAMENTO.....	72
5.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR.....	76
5.7 RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA.....	82
5.8 TOXICIDADE AGUDA .....	85
<b>5.8.1 Toxicidade para minhoca <i>Eisenia fetida</i>.....</b>	<b>86</b>
<b>5.8.2 Toxicidade para alface <i>Lactuca sativa</i> .....</b>	<b>87</b>
6 CONCLUSÃO .....	89
REFERÊNCIAS.....	95



# 1 INTRODUÇÃO

A intensa e cumulativa intervenção humana no ambiente durante milhares de anos acarretou em mudanças significativas que são evidenciadas na atualidade. Porém, após a primeira grande revolução científico-tecnológica que provocou enormes impactos ambientais devidos ao aumento da capacidade produtiva humana, sentiu-se a necessidade de reavaliar o modelo de produção e consumo.

O atual desenvolvimento acelerado da produção industrial e agrícola tem gerado intermitentemente uma grande quantidade de resíduos. Desta forma, são necessárias alternativas para a destinação correta ou, preferivelmente, para agregação de valor aos resíduos gerados. Além dos problemas econômicos e políticos enfrentados ao se explorar um destino correto ou ao se beneficiar os resíduos, há uma carência de técnicas que aliem seu processamento e beneficiamento de forma efetiva para a solução dos problemas causados por sua geração e sua intervenção/ação sobre o ambiente.

Pela forma de condução dos estudos realizados com diversos tipos de resíduos percebe-se que o grande desafio é, realmente, desenvolver uma metodologia de pesquisa para sua reciclagem, no sentido de transformá-los em subprodutos passíveis de serem comercializados e novamente inseridos no processo produtivo. Esses passos exigem um grande esforço da humanidade, tanto do setor produtivo quanto na sociedade, de maneira que se possa viver sob a égide de outro paradigma: o paradigma do desenvolvimento sustentável.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004, p.1) define resíduo como “todo material nos estados sólido e semissólido, que resulta de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”.

Atividades agroindustriais produzem alguns resíduos que não podem ser separados da própria produção, como é o caso da casca de arroz. As partes não aproveitáveis como caule, folhas e casca são consideradas resíduos e contribuem para o aumento do volume de descartados gerados pelas agroindústrias.

Segundo Fonseca (1999), durante o processo de beneficiamento do arroz, resulta como subproduto a casca de arroz, que representa cerca de 23% da massa do arroz *in natura*. O uso desta casca, devido a sua alta dureza, fibrosidade e natureza abrasiva, pode levar ao desenvolvimento de produtos com boa resistência ao desgaste.

A grande maioria das indústrias de beneficiamento de arroz preocupa-se com o meio ambiente por causa da queima da casca do arroz,

que produz fumaça e cinzas, as quais escoam para valos ou rios, gerando poeira. Desta forma, as indústrias veem-se obrigadas a realizar alguma ação social para valorizar o meio ambiente, gerar bem-estar social e diminuir os desgastes ecológicos (URSINI; BRUNO, 2005).

Por outro lado, resinas derivadas de fontes renováveis e biodegradáveis podem apresentar características similares ou superiores às resinas sintéticas, como é o caso da resina de poliuretano derivada de óleo de mamona têm sido estudadas e analisadas quanto a sua eficiência.

O óleo de mamona é um triglicerídeo presente em teores de 40 a 50% na semente da planta *Ricinus communis*, que é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, muito abundante no Brasil. Sua forma é de um líquido viscoso e de odor forte, obtido pela prensagem das sementes ou por extração com solvente. O desenvolvimento de poliuretanos derivados de óleo de mamona teve início na década de 1940 e seu estudo continua até os dias atuais (VILAR, 1998).

Devido às exigências legais quanto ao uso e destino final de fibras sintéticas e resinas oriundas do petróleo, materiais compósitos naturais vêm sendo estudados como alternativas ao uso destes novos materiais. O elevado preço das fibras sintéticas e a conscientização dos consumidores no âmbito da preservação do meio ambiente são vistos como contribuição para o desenvolvimento destas pesquisas (DA SILVA, 2003).

De forma geral, os materiais compósitos podem ser definidos como materiais heterogêneos, resultantes de combinações em que um dos componentes tem como função principal oferecer resistência, sendo o componente estrutural ou de reforço, e o outro componente tem como função ser o meio de transferência destes esforços, sendo o componente matricial ou matriz (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994).

Torna-se assim urgente o desenvolvimento e comercialização de materiais compósitos constituídos por materiais obtidos de fontes naturais, o que resultaria na diminuição da dependência das fontes não renováveis, reduzindo assim os impactos ambientais (JOSHI et al, 2004).

Neste sentido o presente trabalho objetivou desenvolver compósitos aglomerados sustentáveis a partir de casca de arroz e resina poliuretana de óleo de mamona.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver compósito aglomerado sustentável a partir de casca de arroz (*Oriza sativa L.*) e resina de poliuretano de óleo de mamona (*Ricinus communis L.*).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formular compósito de matriz polimérica com resina de poliuretano e reforços de casca de arroz.
- Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas do compósito.
- Avaliar o efeito da relação entre a fração volumétrica de matriz/reforço e o volume de moldagem do compósito sobre as propriedades físicas e mecânicas obtidas.
- Avaliar a toxicidade aguda do compósito obtido.
- Propor aplicações para o material.



### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL

A grande velocidade no processo de transformação da sociedade contemporânea tem consequências ambientais que, recentemente, sobretudo a partir da década de 1970, começaram a ser objeto de estudos e maior atenção por parte dos governos e das organizações comunitárias (SEBATAI, 1997).

Segundo Dias (2011), durante milhares de anos, o processo de intensificação da capacidade humana de intervir no ambiente natural foi se desenvolvendo de forma gradativa e cumulativa, mas durante muito tempo estas modificações provocadas não foram aparentemente significativas em comparação à atualidade. A primeira grande evolução científico-tecnológica provocou enormes impactos no ambiente devido ao aumento da capacidade produtiva humana.

“A alteração significativa do equilíbrio ambiental em um determinado território é decorrente de empreendimentos humanos não comprometidos com os princípios do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2007, p. 16).

Com o passar do tempo, a procura por sistemas sustentáveis tem sido intensificada. O termo foi firmemente reconhecido e incluído nos documentos como um alvo a ser atingido por todos. Uma das definições mais comuns de desenvolvimento sustentável é a do relatório de Brundtland, "desenvolvimento que responde às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades" (RAYNAUT; ZANONI, 1993).

Neste sentido, Boff (2008, s.p) descreve:

Na verdade, o conceito possui uma pré-história de quase três séculos. Ele surgiu da percepção da escassez. As potências coloniais e industriais europeias desflorestaram vastamente seus territórios para alimentar com lenha a incipiente produção industrial e a construção de seus navios com os quais transportavam suas mercadorias e submetiam militarmente grande parte dos povos da Terra. Então surgiu a questão: como administrar a escassez? Carl von Carlowitz respondeu em 1713 com um tratado

que vinha com o título latino de Silvicultura Econômica. Aí ele usou a expressão *nachhaltendes wirtschaften* que traduzida significa: administração sustentável. Os ingleses traduziram por *sustainable yield* que quer dizer produção sustentável.

A palavra sustentável começou a ser relacionada à palavra desenvolvimento por volta da década de 1980, tendo como plano de fundo a crise ambiental e social que desde o início dos anos 1960 já era perceptível como uma crise de dimensões planetárias (BARBIERI, 2007).

Na definição da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1988), o desenvolvimento sustentável não é um estado que permanece em harmonia, mas é o processo de mudança no qual a exploração de recurso, a orientação de investimentos, os rumos do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional deveriam estar de acordo com as necessidades atuais e futuras.

Sobre a definição de desenvolvimento sustentável, Dias (2011, p. 32) afirma que:

Não existe uma única visão do que seja o desenvolvimento sustentável. Para alguns, alcançar o desenvolvimento sustentável é obter o crescimento econômico contínuo através de um manejo racional dos recursos naturais e da utilização de tecnologias mais eficientes e menos poluentes. Para outros, o desenvolvimento sustentável é antes de tudo um projeto social e político destinado a erradicar a pobreza, elevar a qualidade de vida e satisfazer as necessidades básicas da humanidade que oferece princípios e orientações para o desenvolvimento harmônico da sociedade, considerando a apropriação e a transformação sustentável dos recursos ambientais.

Neste sentido Penna (1999, p. 30) afirma que “Grande parte das questões ambientais e sociais se baseiam no equilíbrio abastecimento *versus* demanda. Embora não se saiba com precisão os seus limites, o abastecimento é seguramente limitado, enquanto a demanda pode ser ilimitada”.

Nesta perspectiva, segundo Daly (1997, p.179), existem dois princípios para que seja possível o entendimento sobre produção sustentável:

1. “os recursos naturais não devem ser consumidos a uma velocidade que impeça sua recuperação”;

2. “a produção de bens não deve gerar resíduos que não possam ser absorvidos pelo meio ambiente de uma forma rápida e eficaz”.

Mais que os benefícios à sociedade, a adoção de mecanismos sustentáveis tem sido estrategicamente pensada como uma forma de diferenciação de produtos e também como uma forma para entrada em alguns mercados (SILVA, 2014).

Nesta perspectiva, “o único antídoto para esse caminho inelutável para a morte entrópica é o processo de produção neguentrópica de matéria viva, que se traduz em recursos naturais renováveis” (LEFF, 2010, p. 65).

De acordo com Mattoso e Fragalle (1996), a necessidade de desenvolver uma tecnologia ecológica é advento para a proteção ambiental em todo o mundo, onde se buscam novos materiais que sejam ambientalmente responsáveis.

Com isso, um produto ecológico é aquele que cumpre as mesmas funções dos produtos equivalentes e causa um dano ao meio ambiente inferior, durante todo o seu ciclo. Desde sua composição, até sua capacidade de ser reciclado (JÖHR, 1994).

Ainda afirma Dias (2011), a ecoeficiência de um processo produtivo consiste em produzir mais com menos, reduzindo o consumo de materiais e energia, a geração de resíduos e a liberação e disposição destes agentes no meio ambiente.

O consumo sustentável advém da necessidade de serem fornecidos serviços e produtos que preencham os anseios básicos e deem uma melhor qualidade de vida, ao mesmo tempo em que se diminui o uso de recursos naturais e de substâncias tóxicas, assim como as emissões de resíduos e de poluentes durante o ciclo de vida do produto (PNUD, 1998).

### 3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Na definição de Sebatai (1997, p.49), “resíduo é a palavra adotada muitas vezes para significar sobra no processo produtivo, geralmente industrial. É usada também como equivalente a refugo ou rejeito”.

Os resíduos sólidos diferenciam-se do termo lixo porque, enquanto este último não possui nenhum tipo de valor, pois é aquilo que

deve apenas ser descartado, aqueles possuem valor econômico agregado (DEMAJORIVIC, 1995).

Os resíduos sólidos são compostos por todos os resíduos decorrentes das atividades humanas ou animais, que são normalmente sólido e são descartados por serem inúteis ou indesejados. O termo resíduo sólido inclui a massa heterogênea de comunidades urbanas, bem como a acumulação de descarte sólido de processos de produção agrícola, industrial e mineral (TCHOBANOGLIOUS, 1993).

Enquanto o homem manteve hábitos nômades, os restos produzidos por suas atividades não eram motivo para preocupação. A partir do momento em que se reuniu em grupos maiores e uma vez que estes se tornaram fixos se transformaram em grandes produtores de grandes quantidades e variedades de resíduos. Esta convivência com os resíduos e as consequências decorrentes deste fato passaram a ser inevitáveis (SISINNO; OLIVEIRA, 2006)

Conforme Brasil (2007, p. 102):

Até pouco tempo não se tinha preocupação com o desperdício da matéria-prima, água e energia, gerando prejuízos para as próprias indústrias e para o meio ambiente, provocando o que se vê hoje, que é uma situação dramática de geração de resíduos.

O aumento da quantidade de resíduos e produtos é refletido na velocidade de retirada dos recursos da natureza sem que seja feita a reposição, no consumo de parte deles e transformando a outra parte em sobras com características prejudiciais, assim superando a capacidade de absorção e reposição da natureza. A evolução da tecnologia e das atividades humanas é acompanhada em ritmo mais lento pela evolução de um sistema de gestão de resíduos (STRAUCH; DE ALBURQUERQUE; 2008).

Além de criar potenciais problemas ambientais, os resíduos representam perdas de matérias-primas e energia, exigindo investimentos significativos em tratamentos para controlar a poluição. Muitos dos tratamentos não eliminam realmente os resíduos gerados, apenas os transferem para outro meio que não os esperava (TIMOFIECSYK; PAWLOWSKY, 2000).

O modelo atual, produzido pelo meio cultural que considera a natureza como uma entidade à parte dos processos e necessidades

humanas, entende a geração de resíduos como inevitável e inerente à produção e ao consumo, e procura remediar tais problemas por ações e tecnologias de controle da poluição. Essas tecnologias, no entanto, não evitam o resíduo, pois atuam depois da sua geração, focando sua intervenção apenas nos processos de disposição, tratamento e controle do resíduo no meio ambiente (KIPERSTOK; COELHO; TORRES, 2002).

O crescimento populacional das sociedades de consumo tem contribuído para o aumento da produção de resíduos que precisam ser descartados para dar lugar a novos bens de consumo, formando um ciclo de agressão ao meio ambiente (PINTO, 1979).

Historicamente, saúde e segurança foram as principais preocupações na gestão de determinados resíduos sólidos. Porém, além dessas preocupações que ainda se aplicam, é exigido da sociedade mais do que isso, um sistema de gestão sustentável. Em outras palavras, é necessário considerar todo o ciclo de produção, uma gestão integrada (BORTOLETO et al., 2006).

Segundo Kiperstok e Marinho (2001, p. 271):

A lógica de processamento interno de materiais e energia, com a recuperação de valores incorporados a elementos que seriam rejeitos de alguns processos, por sua utilização como alimentação de outros, é que leva à associação com a ecologia. O modelo ideal de referência seriam os sistemas naturais, fechados, nos quais não cabem os conceitos de resíduos e matéria-prima.

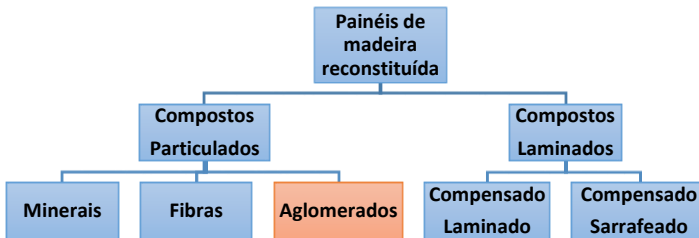
Os resíduos podem conter muitas substâncias de alto valor. Se for empregada uma tecnologia adequada, este material pode ser convertido em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários (LAUFENBERG; KUNZ; NYSTROEM, 2003).

### 3.3 MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos podem ser definidos como materiais heterogêneos, em escala microscópica ou macroscópica, resultantes de combinações em que um dos componentes tem como

função principal oferecer resistência aos esforços, sendo o componente estrutural ou reforço, e o outro componente têm como função ser o meio de transferência destes esforços, sendo o componente matricial ou matriz (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO, 1994), a classificação do material desenvolvido no presente estudo é ilustrada na Figura 1.

Figura 1: Principais tipos de painéis compósitos.



Fonte: Adaptado de Iwakiri et al. (2005).

Os registros da utilização de fibras no emprego de materiais reforçados são antigos e conhecidos desde o antigo Egito e Roma, onde tijolos e adobes eram reforçados com raízes. Por exemplo, quando se misturava palha e barro para obter misturas mais adequadas para uso nas construções de civilizações antigas, o que já ocorria em 1200 a.C. no Egito (SWAMY, 1975).

Os compósitos são reforçados por fibras de tal forma que ambas, a matriz e o reforço, mantenham suas identidades físicas e químicas e ainda produzam uma combinação de propriedades que não podem ser conseguidas com um dos constituintes agindo sozinho (MALLICK, 2010).

Durante o processamento de compósitos, diferentemente dos materiais metálicos e cerâmicos, a manufatura do material em si ocorre ao mesmo tempo em que o componente é submetido à moldagem. O estabelecimento do processo adequado para cada moldagem é determinado basicamente pelo tipo de matéria-prima, tipo de reforço e matriz, e geometria do componente a ser obtido. Dessa forma, o compósito pode ser efetivamente projetado simultaneamente ao componente estrutural de que se necessita para uma dada aplicação, dotando-o de propriedades únicas, de forma a atender aos requisitos de projeto específicos assim exigidos (PARDINI; LEVY NETO, 2006).

O uso de fibras naturais de origem vegetal em compósitos envolve aspectos ambientais, sociais e econômicos que necessitam ser levados em conta, além do aumento da população e da escassez progressiva de recursos energéticos e minerais (ROWELL et al., 1997).

Ainda a respeito de compósitos reforçados com fibras Partini e Levy Neto (2006) descrevem:

Atualmente, o desempenho estrutural dos compósitos sintéticos, em muitos aspectos, ainda supera o dos compósitos naturais. Entretanto, com a crescente necessidade de se resguardar o meio ambiente das inúmeras agressões oriundas dos processos industriais, bem como minimizar a dependência de recursos não renováveis como o petróleo, e assim efetivamente promover o desenvolvimento sustentável, o uso de matérias-primas de origem vegetal, e, portanto, renováveis, vem crescendo nos últimos anos. Até então, com raras exceções, a produção de materiais sintéticos tem causado problemas ambientais, e o seu uso em compósitos tem contribuído para a geração de um lixo que apresenta dificuldades de reciclagem.

Pressionado por exigências legais o uso e o destino final das fibras sintéticas e matrizes oriundas de petróleo, faz com que compósitos naturais acabem se tornando objeto de estudos, agregado ao alto preço e a conscientização ambiental do consumidor, posto que contribui com o desenvolvimento destas pesquisas (DA SILVA, 2003).

A grande demanda por madeira pelas indústrias nos últimos anos aliada ao aumento populacional e à necessidade de novas áreas de plantio, e tendo em vista a grande pressão pela preservação ambiental resultou na necessidade dos setores econômico e científico em buscar alternativas pelo uso de biomassas para substituição da madeira. Uma das alternativas encontradas é o uso de agrofibras como matéria-prima para a fabricação de compósitos aglomerados (ROWELL, 1995). As agrofibras, consideradas renováveis, são principalmente aceitas como materiais residuais (GULER; COPUR; TASCIOGLU, 2008).

### 3.4 CASCA DE ARROZ

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais produzidos e consumidos no mundo, caracterizando-se como principal alimento para mais da metade da população mundial. Sua importância é destacada principalmente em países em desenvolvimento, tais como o Brasil, desempenhando papel estratégico em níveis econômico e social (WALTER; MARCHEZAN; AVILA, 2008).

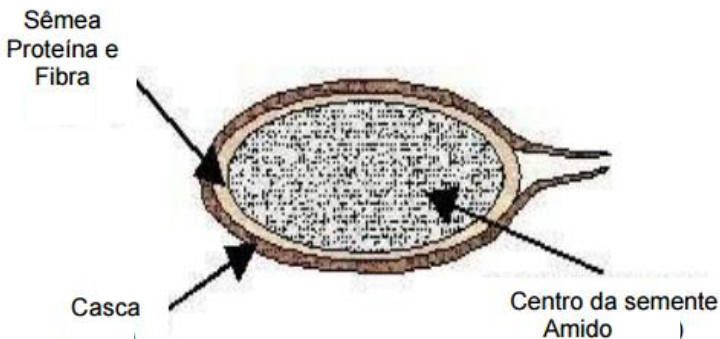
No Brasil, o plantio do arroz teve início em 1540, na Capitania de São Vicente no período da colonização. Com o passar do tempo sua produção se espalhou por todo o litoral brasileiro, mas apenas em 1904 é que surgiram as primeiras lavouras empresariais (BASSINELLO; CASTRO, 2004).

Na safra brasileira de 2014/2015 de arroz, a produção média foi de 2,3% superior à safra de 2013/2014, atingindo 12.397,2 milhões de toneladas, aumento de 3,5% na produtividade média, quando comparada com a safra anterior, chegando ao índice de 5.289 kg/ha (CONAB, 2015).

Atualmente em Santa Catarina existem 54 indústrias de beneficiamento de arroz e 16 pequenos engenhos, que funcionam apenas nos meses de safra. A capacidade de beneficiamento é de 1,4 milhão de toneladas de arroz em casca (EPAGRI, 2015).

Segundo Fonseca (1999), durante o processo de beneficiamento do arroz, resulta como subproduto a casca de arroz, que representa cerca de 23% da massa do arroz. Esta casca, devido a sua alta dureza, fibrosidade e natureza abrasiva, leva a obtenção de produtos de boa resistência ao desgaste, em subsequência está ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Figura 2: Detalhamento de um grão de arroz.



Fonte: Arrozearias Mundiarroz S/A (2014).

A casca do arroz é a capa lenhosa do grão composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (DAFICO, 2001).

Figura 3: Casca de arroz.



Fonte: Do autor (2015).

Na indústria do arroz, a casca é o subproduto mais volumoso, que pode ser aproveitada de diversas maneiras. Se ela for utilizada, direta ou indiretamente, para algum fim comercial, o ciclo da industrialização do arroz será fechado, sendo possível o total aproveitamento da matéria-prima proveniente da lavoura, pois o farelo, gérmen e outras partes já têm seu destino no mercado. Afinal, uma produção industrial ideal é aquela que gera resíduo zero (FOLETTTO et al., 2005).

Segundo Della, Kunh, Hotza (2001, p.778):

Com o objetivo de reduzir a geração de resíduos nos processos industriais e agrícolas, principalmente os poluentes, bem como melhor reaproveitá-los, seja no próprio processo produtivo ou como matéria-prima na elaboração de outros materiais, tem-se cada vez mais investido em pesquisas para a transformação

destes, até então considerados apenas resíduos industriais, em subprodutos de interesse comercial.

A grande maioria das indústrias que beneficiam arroz preocupam-se com o meio ambiente por causa da queima da casca do arroz, que produz fumaça, gera seu escoamento para os valos ou rios e gera poeira. Desta forma, veem-se obrigadas a realizar alguma ação social para valorizar o meio ambiente, causar bem-estar social e diminuir os desgastes ecológicos (URSINI; BRUNO, 2005).

### 3.5 RESINA DE POLIURETANO DE ÓLEO DE MAMONA

O poliuretano foi desenvolvido por Otto Bayer em 1937. O termo poliuretano, denotado por PU, é usualmente aplicado a polímeros que possuam grupos uretanos formados tipicamente através de reação de um diisocianato com um poliál. As principais matérias-primas empregadas na fabricação dos poliuretanos são os di ou poli-isocianatos e os polímeros hidroxilados de baixa massa molar (polióis) (MERLINI, 2011).

Em teores de 40 a 50% na forma de um líquido viscoso e de odor forte, o óleo de mamona é um triglicerídeo presente na semente da planta *Ricinus communis*, que é encontrada em regiões tropicais e subtropicais, muito abundante no Brasil (VILAR, 1998). A Figura 4 ilustra a planta *Ricinus communis* e a semente da planta.

Figura 4: A) *Ricinus communis* L., B) Semente da planta.



Fonte: Assiri (2012).

Na atual safra de mamona foi produzido 61,3 mil toneladas em uma área de 90,3 mil hectares, com produtividade média estimada de 679 kg/ha (CONAB, 2015).

O óleo de mamona é um recurso natural e renovável, utilizado para síntese de poliuretano que cura a frio e é menos agressivo ao ambiente, sendo não alimentar (MILANESE, 2008).

O desenvolvimento de poliuretanos derivados de óleo de mamona teve início na década de 1940 e seus estudos continuam até os dias atuais (VILAR, 1998).

O poliuretano (PU) à base de óleo de mamona é um polímero bicomponente por um pré-polímero e um polioliol extraído do óleo da semente da planta *Ricinus communis L.* que não emana substâncias tóxicas, além de ser um material biodegradável, sendo também uma alternativa de material que não apresenta risco à saúde e ao meio ambiente (CANGEMI, 2006).

Segundo Cangemi (2006, p.144):

O poliuretano derivado do óleo da mamona é um polímero biodegradável, testes feitos com espumas de PU's comprovaram a boa biodegradação desse material na presença de microrganismos oriundos de agentes biológicos degradantes de gorduras, por ser um material preparado a partir de óleo vegetal, seu processo de biodegradação se semelha à degradação destas.

O polímero à base de moléculas de mamona foi desenvolvido no ano de 1984, por pesquisadores do Grupo de Química Analítica e Tecnologias de Polímeros de São Carlos, USP, liderados pelo Professor Gilberto Orivaldo Chierice (CHIERICE, 1994).



## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Foram realizadas revisões bibliográficas com o intuito de determinar quais materiais compósitos aglomerados sustentáveis são factíveis de serem obtidos usando a casca de arroz sem tratamento prévio.

A etapa inicial constituiu na aquisição de amostras de cascas de arroz *in natura*, em um engenho de arroz na cidade de Forquilha no estado de Santa Catarina, sendo definido como lote padrão. A resina de poliuretano de óleo de mamona foi fornecida pela empresa Imperveg® com o nome comercial AGT 1315, uma resina bicomponente termorrígida com a fração de uso do componente A e B em volume de (1:1,5).

A resina de poliuretano foi doada pela empresa Imperveg® Comércio e Prestações de Serviço Ltda. A Tabela 1 apresenta as características principais da resina, dados fornecidos pela empresa.

Tabela 1: Características da resina de poliuretano Imperveg®.

<b>Análises</b>	<b>Resultados</b>
Resistência ao calor	210 °C
Tensão à tração	15 MPa
Resistência à compressão	28 MPa
Dureza Shore D	65
Alongamento na ruptura	± 8%

Fonte: Adaptado de Imperveg® (2015).

A casca de arroz apresenta como principais características granulometria homogênea, com cerca de 89% dos grãos entre peneiras de 1,19 e 2 mm, com teor de umidade de 9,25% (FERREIRA; GOBO; CUNHA, 2008). Segundo Oliveira e Tannous (2009), sua massa específica é baixa, 1600kg/m<sup>3</sup>.

A casca do arroz é composta de aproximadamente 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica de base anidra (DAFICO, 2001).

### 4.2 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

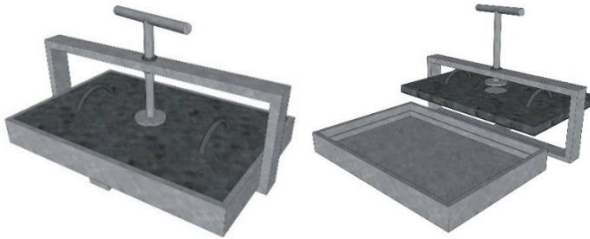
O processo de moldagem das placas foi realizado por prensagem em temperatura ambiente com finalidade de se obter o compósito com o menor custo energético para confecção dos corpos de prova, o diâmetro

do limitante no molde utilizado foi de 41 cm comprimento, 26 cm de largura e 2 cm de altura.

Os moldes são usualmente feitos de aço e formados a partir da combinação de duas partes: matriz e estampo. A matriz é representada pela “cavidade”, a parte “oca” do molde, responsável pela forma e acabamento da superfície externa do produto, e o estampo, pela parte “saliente”. A parte que origina a superfície interna da peça é chamada de “estampo” (GUEDES; FILKAUSKAS, 1997).

O dispositivo utilizado é ilustrado na Figura 5:

Figura 5: Dispositivo de prensagem.



Fonte: Do autor (2015).

A preparação do compósito foi realizada em laboratório, para determinar com precisão as quantidades necessárias para a formulação do compósito, seguindo valores pré-estabelecidos de acordo com planejamento experimental fatorial do tipo  $2^k$  combinações experimentais distintas, sendo avaliados  $k$  fatores em apenas dois níveis, nível alto (+) e nível baixo (-). Assim, se “ $n$ ” representa o número de réplicas em cada condição experimental, o número de ensaios é dado por  $n + 2^k$ . Como há somente dois níveis para análise de cada fator, assume-se que a variável de resposta apresente comportamento linear entre esses níveis (BUTTON, 2005), na Figura 6 está ilustrado a mistura para moldagem reforço/matriz.

Figura 6: Mistura para moldagem reforço/matriz.



Fonte: Do autor (2015).

Todo o processo foi realizado em temperatura ambiente, com desmoldagem após 8 horas, conforme orientado pelo fornecedor da resina. Como desmoldante foram utilizados filmes plásticos e vaselina industrial.

Os corpos de prova para os diversos ensaios (descritos nas próximas sessões) foram obtidos a partir da usinagem das placas de compósitos moldadas na prensa, seguindo as dimensões específicas estabelecidas para cada ensaio descritos na Tabela 2.

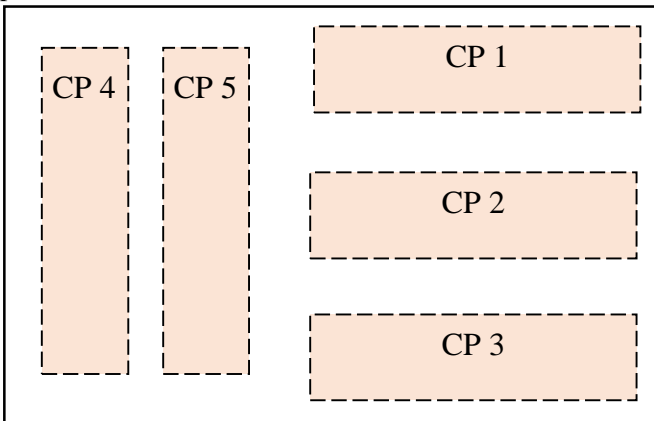
Foram retiradas 5 amostras de cada placa prensada, com o intuito de maior significância estatística dos resultados. As dimensões dos corpos de prova bem como a posição de retirada dos mesmos das placas foram seguidas conforme a ABNT 14810 (ABNT, 2013), ilustrado na Figura 7.

Tabela 2: Dimensões dos corpos de prova para ensaios padronizados.

Ensaio	Comprimento (mm)	Largura (mm)
Densidade	50	50
Teor de umidade	50	50
Inchamento	50	50
Absorção de água	25	25
Resistência à tração perpendicular	250	50
Resistência à flexão estática	250	50

Fonte: Adaptado de ABNT (2002, 2013).

Figura 7: Posição para retirada das amostras para os ensaios padronizados.



Nota: CP (Corpo de prova).

Fonte: Adaptado de ABNT (2013).

#### 4.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL (DOE)

O planejamento experimental utilizado foi do tipo fatorial  $2^k$ . Os fatores principais, aqueles intencionalmente variados, foram a fração volumétrica entre matriz/reforço e o volume do material para moldagem. Cada fator de estudo foi variado em um nível mínimo e máximo, com um ponto central, resultando assim em uma matriz experimental tipo  $2^2+3$ , ou seja, dois fatores a dois níveis (máximo e mínimo) com um ponto central replicado três vezes, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Matriz experimental tipo fatorial completo  $2^2+3$  para o desenvolvimento do compósito de casca de arroz/resina de poliuretano de óleo de mamona

<b>Experimento</b>	<b>Fração matriz/reforço (%)</b>	<b>Volume (L)</b>
A	-1	-1
B	-1	+1
C	+1	-1
D	+1	+1
E	0	0
F	0	0
G	0	0

Nota: (-1) é o menor nível do fator em estudo; (+1) é o maior nível do fator em estudo; (0) é o ponto central, nível intermediário.

Fonte: Do Autor (2015).

Os fatores intencionalmente variados, com seus pontos mínimos, centrais e máximos, foram estipulados conforme descrito na Tabela 4, sendo todas as variáveis controladas em laboratório.

Tabela 4: Descrição das variáveis dos fatores do DoE.

<b>Fator</b>	<b>Fração matriz/reforço (%)</b>	<b>Volume (L)</b>
-1	5/95	2
0	12,5/87,5	2,75
+1	20/80	3,5

Fonte: Do autor (2015).

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma confiabilidade de 95% para os resultados (fator  $p = 0,05$ ).

#### 4.4 CORPOS DE PROVA DO RESÍDUO DO PROCESSO

Com o intuito de estabelecer um sistema com o mínimo de perdas no processo, foram reutilizados os resíduos de planagem e usinagem conforme ilustrado na Figura 8, para a prensagem de novos corpos de prova. A fração utilizada foi de 20% em volume de resina e 3,5 L de volume total e identificados com a letra R.

Figura 8: Resíduo de processo de planagem e usinagem.



Fonte: Do autor (2015).

#### 4.5 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO

A NBR 14810 (ABNT, 2013) define os termos usualmente empregados na fabricação, comercialização, execução de ensaios e utilização de painéis de partículas de média densidade. Os ensaios foram conduzidos conforme a NBR 14810 (ABNT, 2013) vigente para caracterização dos compósitos, o ensaio de absorção de água foi realizado conforme a NBR 14810 (ABNT, 2002) pois na atual revisão esse ensaio é descartado.

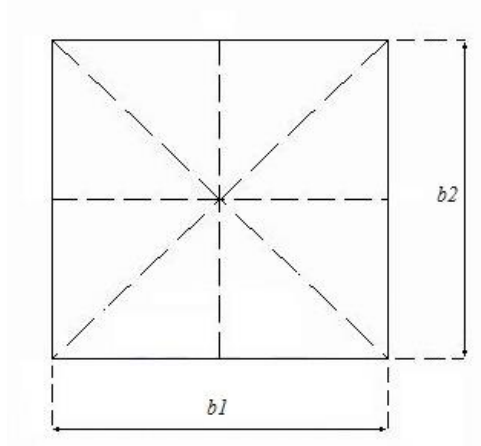
Os ensaios descritos pela norma vigente e que foram avaliados neste estudo foram: densidade, teor de umidade e inchamento. Na caracterização de resistência foram realizados ensaios de resistência à flexão e tração perpendicular.

As metodologias dos ensaios segundo a norma para corpos de prova de painéis de partículas de média densidade são definidas nas próximas sessões.

### 4.5.1 Densidade

Após a identificação dos corpos de prova foi determinada a espessura ( $e$ ) utilizando paquímetro com resolução de 0,01 mm. A espessura foi medida no ponto de intersecção das diagonais em cada corpo de prova. Após a determinação de espessura, com o uso de paquímetro de resolução de 0,01 mm, os corpos de prova foram medidos em dois pontos paralelos às extremidades dos corpos de prova ( $b_1$  e  $b_2$ ), ao longo de linhas que passam pelos centros de extremidades opostas conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9: Pontos de medição no corpo de prova na análise de densidade.



Fonte: ABNT (2013).

Os corpos de prova foram pesados em balança com resolução de 0,1g, as medidas foram anotadas em planilha de controle e a determinação do valor da densidade foi efetuado conforme equação abaixo.

Equação de densidade:

$$D = \frac{M}{V} \times 1\,000\,000$$

Sendo:

$$V = b_1 \times b_2 \times e$$

Onde:

$D$ : densidade, em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ );

$M$ : massa, em gramas (g);

$V$ : volume, em milímetros cúbicos ( $\text{mm}^3$ );

$b_1$  e  $b_2$ : dimensões, em milímetros (mm);

$e$ : espessura, em milímetros (mm).

#### 4.5.2 Teor de umidade

Os corpos de prova foram identificados e pesados individualmente, em balança com resolução de 0,01g, e anotados os dados como sendo a massa úmida. As amostras foram inseridas em estufa a  $(103 \pm 2)$  °C durante 6 horas. Logo após o tempo determinado as amostras foram retiradas e esfriaram em dessecador e foram pesadas individualmente, sendo anotados os valores como massa seca e determinado pela equação a seguir.

Equação de teor de umidade:

$$U = \frac{M_U - M_S}{M_S} \times 100$$

Onde:

$U$ : umidade residual, em porcentagem (%);

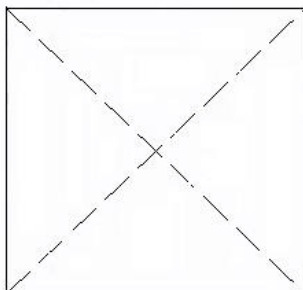
$M_U$ : massa úmida, em gramas (g);

$M_S$ : massa seca, em gramas (g).

#### 4.5.3 Determinação de inchamento durante 24 horas

Após o corte e identificação dos corpos de prova, a medida de espessura ( $e$ ) foi realizada no ponto de intersecção das diagonais de cada corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Ponto de medição de espessura na análise de inchamento.



Fonte: ABNT (2013).

O recipiente foi preenchido com água destilada, de modo que quando a amostra ficou submersa, o nível de água ficou cerca de 25 mm acima da superfície superior da amostra.

A temperatura foi controlada a 20 °C, por um termostato. Após 24 horas de imersão, os corpos de prova foram retirados do recipiente e foi removido o excesso de água com papel absorvente. Em sequência, foi medida novamente a espessura do corpo de prova e anotados os respectivos resultados e calculados seguindo a equação.

Equação de inchamento:

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100$$

Onde:

$I$ : inchamento em espessura, em porcentagem (%);

$E_1$ : espessura após o período de imersão, em milímetros (mm);

$E_0$ : espessura antes da imersão, em milímetros (mm).

#### 4.5.4 Determinação de absorção de água

Após o corte e identificação dos corpos de prova, foi realizada a determinação da massa dos corpos de prova em balança com resolução de 0,01g.

O recipiente foi preenchido com água destilada, de modo que quando a amostra ficou submersa, o nível de água ficou cerca de 25 mm acima da superfície superior da amostra.

A temperatura foi controlada a 20 °C, por um termostato. Após 24 horas de imersão, os corpos de prova foram retirados do recipiente e foi removido o excesso de água com papel absorvente. Em sequência, foi determinada novamente a massa dos corpos de prova e anotados os respectivos resultados e por meio da equação em sequência foram calculados.

Equação de absorção de água:

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100$$

Onde:

$A$ : absorção de água, em porcentagem (%);

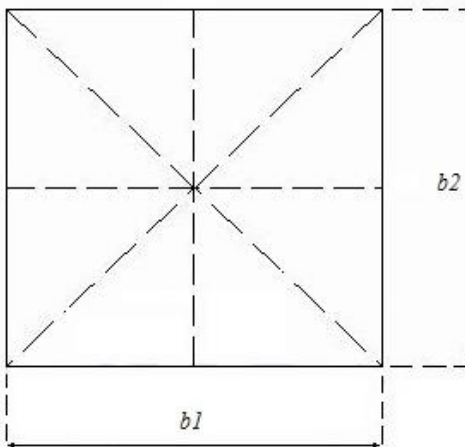
$M_1$ : massa após o período de imersão, em gramas (g);

$M_0$ : massa antes da imersão, em gramas (g).

#### 4.5.5 Resistência à tração perpendicular

As dimensões dos corpos de prova foram medidas utilizando paquímetro de resolução de 0,01 mm em dois pontos paralelos às extremidades, ao longo de linhas que passam pelos centros de extremidades opostas, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 11: Pontos de medição no corpo de prova na análise de tração perpendicular.



Fonte: ABNT (2013).

Após as medições os corpos de prova foram colados em dispositivos de metal e posicionados entre as garras de uma máquina universal de ensaios (EMIC DL 10000) provida de articulações, conforme Figura 12. Iniciado o ensaio, com tempo médio de ruptura de 60 segundos, à carga máxima necessária para romper o corpo de prova, expressa em newtons (N), foi registrada e calculado pelas equações em subsequência.

Figura 12: Forma de colocação do corpo de prova nas articulações da máquina universal de ensaios.



Fonte: Do autor (2015).

Equação de resistência à tração perpendicular:

$$TP = \frac{P}{S}$$

Sendo:

$$S = b_1 \times b_2$$

Onde:

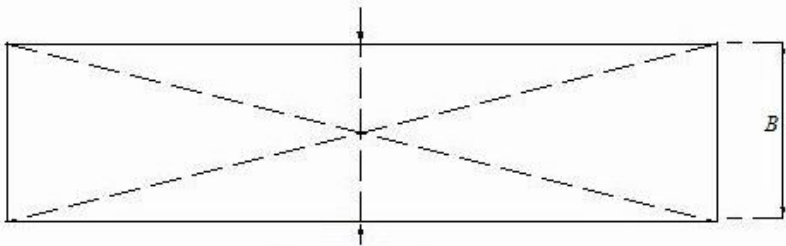
*TP*: resistência à tração perpendicular, em newtons por milímetro quadrado (N/mm<sup>2</sup>);

$P$ : carga de ruptura, em newtons (N);  
 $S$ : área da superfície do corpo de prova, em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ );  
 $b_1$  e  $b_2$ : dimensões do corpo de prova, em milímetros ( $\text{mm}^2$ );

#### 4.5.6 Resistência à flexão

Com o auxílio de um paquímetro com resolução de 0,01 mm, foram medidas as espessuras ( $e$ ) dos corpos de prova individualmente. A espessura foi medida nas seções transversais no ponto de intersecção das diagonais com sua largura ( $B$ ), conforme ilustrado na Figura 13.

Figura 13: Pontos de medição do corpo de prova para análise da resistência à flexão.



Fonte: ABNT (2013).

Os extremos do corpo de prova foram colocados sobre os dois apoios da máquina universal de ensaios, de modo que o dispositivo para aplicar a carga coincidiu com o centro do corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Forma de colocação do corpo de prova sobre os apoios da máquina universal de ensaios.



Fonte: Do autor (2015).

Foram registradas as dimensões do corpo de prova, o indicador de carga foi zerado e acionado com velocidade constante de forma que a ruptura acontecesse em um intervalo de  $(60 \pm 30)$  s. Após a ruptura, foram registradas, a carga no limite proporcional e o valor da força de ruptura e calculados os valores utilizando a equação a seguir.

Equação de resistência à flexão:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (e)^2}$$

Onde:

*MOR*: módulo de resistência à flexão, em newtons por milímetro quadrado ( $N/mm^2$ );

*P*: carga de ruptura, em newtons (N);

*D*: distância entre apoios do aparelho, em milímetros (mm);

*B*: largura do corpo de prova, em milímetros (mm);

*e*: espessura média em três pontos, em milímetros (mm).

#### 4.5.7 Análise de toxicidade aguda

As análises empregadas no processo de avaliação dos parâmetros de toxicidade das amostras são descritas a seguir.

#### 4.5.7.1 Ensaio com minhocas *Eisenia fetida*

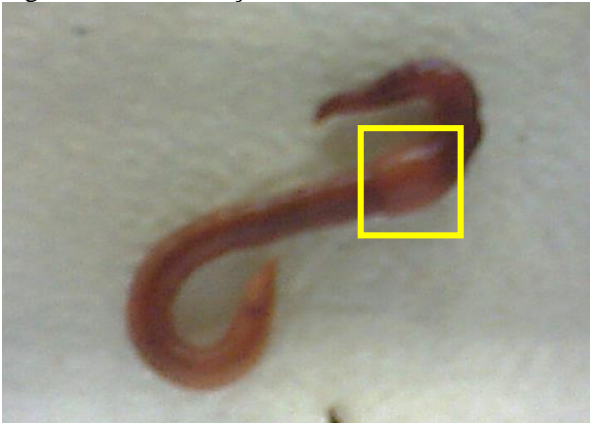
A NBR 15537 (2007), estabelece o método empregado na avaliação de toxicidade aguda com minhocas. A análise consiste na exposição de adultos da espécie de minhoca *Eisenia fetida*, em contato com a substância analisada.

De acordo com a NBR 15537 (2007, p. 9):

*Eisenia fetida* (subespécies *E. fetida fétida* e *E. fétida andrei*) é uma espécie de anelídeo que ocorre em solos ricos em matéria orgânica. Sua sensibilidade a agentes químicos assemelha-se à de outros organismos que habitam a maioria dos solos. Trata-se de uma espécie muito prolífica, sendo que cada adulto produz de dois a cinco casulos por semana (dos quais emergem vários organismos). É disponível no comércio e pode ser cultivada em uma variedade de materiais orgânicos.

A identificação dos indivíduos adultos para uso dos ensaios foi realizada na escolha de minhocas com a presença do clitelo. Sendo uma estrutura presente somente em indivíduos adultos e em estágio de reprodução (PEREIRA, 1997), conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15: Identificação do clitelo em minhocas *Eisenia fetida*.



Fonte: Do autor (2015).

Após a escolha dos indivíduos testes, os mesmos foram separados e colocados em jejum durante 24h, sobre papel filtro umedecido.

O solo artificial usado para análise do controle foi preparado com umidade de 40% e pH 6,40 com os componentes descritos na Tabela 5.

Tabela 5: Componentes para preparo do solo artificial.

<b>Componente</b>	<b>Proporção (%)</b>
Turfa	10
Caulim	20
Areia industrial peneirada	70

Fonte: ABNT (2007).

Para realização do ensaio foram preparadas amostras moendo-se as placas de compósito em frações correspondentes a uma granulação de 1 mm da matriz/reforço. Quanto às amostras analisadas, a Tabela 6 mostra sua ordem e sua identificação.

Tabela 6: Amostras para análise de toxicidade com minhocas.

<b>Identificação</b>	<b>Amostra</b>
B	Solo artificial
T1	5/95
T2	12,5/87,5
T3	20/80
T4	Placa do resíduo do processo

Fonte: Do autor (2015).

As amostras foram dispostas em duplicatas e em recipientes de plástico com tampa perfurada em um volume de amostra de 500g e umedecidas até atingir uma umidade semelhante a 40% e luminosidade controlada de alternância de 8 horas de luz e 16 horas no escuro com temperatura de 20°C.

Figura 16: Amostras para análise de toxicidade com minhocas.



Fonte: Do autor (2015).

Com as amostras preparadas, cada grupo de 10 minhocas foram adicionadas ao seu respectivo substrato. Após 14 dias o material foi peneirado, as minhocas vivas foram identificadas por estímulos mecânicos usando pinça e contadas em seus grupos para cada amostra.

Ao final do ensaio, o resultado foi expresso da seguinte forma: quando não houve diferença estatisticamente significativa na mortalidade em relação ao controle, o resultado foi expresso como “não tóxico”. Quando houve diferença significativa, o resultado foi expresso como “tóxico”.

O resultado foi considerado válido quando, ao término do período de ensaio, a mortalidade dos organismos no controle foi menor ou igual a 10%.

#### 4.5.7.2 Ensaio com sementes de alface *Lactuca sativa*.

O ensaio de toxicidade aguda utilizado como parâmetro a germinação em sementes foi baseado na normativa 850 da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US EPA, 1996), entre as espécies a serem utilizadas as sementes de alface *Lactuca sativa* é uma das espécies na qual a norma recomenda.

Foram utilizadas 45 unidades de sementes da espécie *Lactuca sativa*. O solo artificial usado para análise do controle foi preparado com

a mesma composição do solo artificial no ensaio com minhocas descritos anteriormente na Tabela 5.

Para realização do ensaio foram preparadas amostras pela moagem das placas de compósito em frações correspondentes à matriz/reforço com uma granulação de 1 mm. Quanto às amostras analisadas, a ordem de identificação foi semelhante aos do ensaio com minhocas, descritos anteriormente na Tabela 6.

As amostras foram dispostas em duplicatas com grupos de 45 sementes em placas de petri com tampa em um volume de amostra de 150g e umedecidas até atingir uma umidade semelhante a 40% e luminosidade controlada de alternância de 8 horas de luz e 16 horas no escuro com temperatura de 20°C, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17: Amostra com sementes incubadas.



Fonte: Do autor (2015).

Com as amostras preparadas, cada grupo de 45 sementes foi adicionado ao substrato. Após 7 dias o material foi retirado da incubadora e as sementes germinadas dentro da placa de petri ilustradas na Figura 18, foram retiradas e aquelas que obtiveram raízes com comprimento de no mínimo 5mm foram caracterizadas como germinadas e contadas.

Figura 18: Amostra com sementes germinadas.



Fonte: Do autor (2015).

O resultado é considerado válido se, ao término do período de ensaio, a não germinação das sementes no controle for menor ou igual a 10%.

Ao final do ensaio, se houver taxa de germinação maior ou igual a 50% do resultado do controle, o resultado deve ser expresso como “não tóxico”. Se houver taxa de germinação inferior a 50% em relação ao resultado do branco, o resultado deve ser expresso como “tóxico”.

#### **4.5.8 Análise estatística dos resultados**

O teste de variância utilizado no estudo estatístico consiste na verificação da existência de uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. Os fatores propostos são de origem quantitativa, mas a variável é contínua.

A avaliação dos dados dos experimentos foi submetida a ANOVA. A análise de variância foi baseada na decomposição da variação total da variável resposta em partes que podem ser atribuídas aos tratamentos (variância entre) e ao erro experimental (variância dentro) (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995). Essa variação pode ser medida por meio das somas de quadrados definidas para um dos componentes:

$$SQ_{total} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (iy^2 - C) \text{ onde } C = \frac{\left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J iy^2\right)^2}{IJ}$$

E a soma de quadrados dos resíduos pode ser obtida por diferença:

$$SQ_{resíduos} = SQ_{total} - SQ_{tratamentos}$$

A  $SQ_{tratamentos}$  também chamada de Variação Entre, que é a variação existente entre os diferentes tratamentos e a  $SQ_{resíduos}$  chamada de Variação Dentro, onde à função das diferenças existentes entre as repetições de um mesmo tratamento (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 1995). A soma dos quadrados pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7: Análise de Variância.

<b>Causas de variação</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Soma dos quadrados</b>	<b>Médias quadráticas</b>	<b>F calculado</b>
Tratamentos	i-1	$SQ_{trat.}$	$MQ_{trat.}$	$MQ_{trat.}/MQ_{res.}$
Resíduos	j(i-1)	$SQ_{res.}$	$MQ_{res.}$	-
Total	ij-1	$SQ_{total}$	-	-

Fonte: Barros Neto; Scarminio; Bruns (1995).

Assim, para testar a hipótese  $H_0$ , foi utilizado F, lembrando que esse teste é válido se os pressupostos assumidos para os erros dos modelos estiverem satisfeitos. Em que:  $MQ_{tratamentos} = SQ_{tratamentos}/(i-1)$  e  $MQ_{resíduos} = SQ_{resíduos}/(i(j-1))$ .

Se  $F_{calculado} > F_{tabelado}$  hipótese de nulidade  $H_0$  é rejeitada, ou seja, existindo evidências de diferença significativa entre pelo menos um par de médias de tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido. Caso contrário, não foi rejeitada a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, não há evidências de diferença significativa entre tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido (TRIOLA, 2008).

Outra maneira utilizada para avaliar a significância da estatística F é utilizando o valor p. Se o valor  $p < \alpha$ , rejeita-se a hipótese de nulidade  $H_0$ . Caso contrário, não se rejeita a hipótese de nulidade  $H_0$ , ou seja, não há evidências de diferenças significativas entre os tratamentos, ao nível  $\alpha$  de significância escolhido.



## 5 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados da caracterização das matérias-primas utilizadas, bem como os resultados dos ensaios utilizados para caracterização do material compósito desenvolvido.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA COMPÓSITO

A partir do planejamento fatorial completo tipo  $2^k$ , Tabela 10, foram formuladas 7 composições do compósito aglomerado utilizando-se a fibra de casca de arroz como reforço e a resina de poliuretano de mamona como matriz. O planejamento experimental utilizado foi do tipo fatorial  $2^k$ . Os fatores principais foram a razão volumétrica entre matriz/reforço (ou seja, a razão volumétrica entre a resina de poliuretano e a fibra de casca de arroz) e o volume do material para prensagem.

Como já mencionado, cada fator de estudo foi variado em um nível mínimo e máximo, com um ponto central, resultando assim em uma matriz experimental tipo  $2^2 + 3$ , ou seja, três fatores a dois níveis (máximo e mínimo) com um ponto central replicado três vezes, conforme descrito na Tabela 8.

Tabela 8: Matriz experimental  $2^2 + 3$  e resultados dos ensaios realizados.

Exp.	Ref.	Vol.	A	I	D	U	F	T
A	95	2,0	53,6	1,14	185	8,42	0,243	0,16
B	95	3,5	42	1,51	292	8,43	0,52	0,20
C	80	2,0	15,1	0,18	359	4,99	2,00	0,55
D	80	3,5	7,2	0,5	413	5,27	5,04	0,67
E	87,5	2,75	35,3	0,84	251	6,55	0,874	0,35
F	87,5	2,75	35,3	0,8	263	6,34	0,687	0,30
G	87,5	2,75	36,1	0,88	249	6,33	0,741	0,28

Nota: Ref. é a fração volumétrica de fibra (% vol.) nas amostras; Vol. é o volume de compósito utilizado na moldagem (L); A é a absorção de água das amostras (%); I é o inchamento das amostras (%); D é a densidade das amostras ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); U é a umidade das amostras (%); F é a resistência à flexão estática das amostras ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ); T é a resistência à tração perpendicular das amostras ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ).

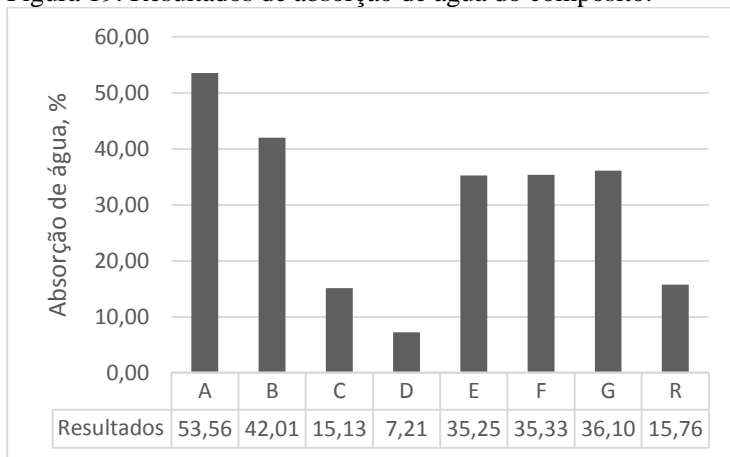
Fonte: Do autor (2015)

O efeito de cada formulação do compósito em função da fração de cada componente e o volume, é discutido nas seções seguintes para cada propriedade analisada.

## 5.2 ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na Figura 19 são mostrados os resultados obtidos para esta propriedade.

Figura 19: Resultados de absorção de água do compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L.

Fonte: Do autor (2015).

Os resultados mostram que o aumento da absorção de água está relacionado ao aumento da fração de reforço nos compósitos. A Tabela 9 apresenta a análise de variância para a absorção de água (%). Ao se analisar os resultados apresentados, observa-se a alta confiabilidade dos resultados: o fator F para a fração volumétrica de reforços é de 63, indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 99,6%, estatisticamente significativa para a análise do efeito das variáveis do estudo sobre a absorção de água do compósito desenvolvido. O volume de mistura na moldagem apresentou menor significância estatística.

Tabela 9: Análise de variância (ANOVA) para a absorção de água (%).

Absorção de água (%)	SQ	v	MQ	F	p	R <sup>2</sup>
Reforço (%)	1340	1	1340	63	0,00417	0,958
Volume (L)	94,8	1	94,8	4,45	0,125	
Ref. × Vol.	3,29	1	3,29	0,155	0,72	
Erro	63,9	3	21,3			
SQ <sub>total</sub>	1503	6				

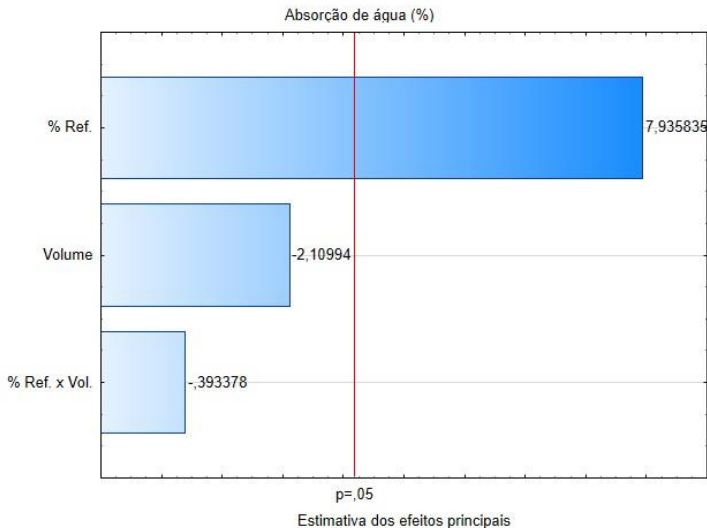
Nota: SQ = somas quadráticas; v = variância ou grau de liberdade; MQ = médias quadráticas; F = probabilidade (fator de Fisher); p = confiabilidade; R<sup>2</sup> = ajuste do modelo.

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 20 apresenta o diagrama de Pareto para a absorção de água. O diagrama de Pareto é um gráfico de barras que ordena a frequência com que ocorrem os eventos. Sua maior utilidade é facilitar a visualização e identificação das causas ou problemas mais importantes do planejamento. Pode-se perceber que, com exceção da fração de reforço, os fatores apresentam baixa confiabilidade para a absorção de água, abaixo de 95%.

Pelo gráfico de Pareto a fração volumétrica de casca de arroz (reforço) tende a aumentar a absorção de água, pois seu coeficiente é positivo. Isto significa dizer que quanto mais fibra é adicionada ao compósito, maior será sua absorção de água. O volume de enchimento da cavidade de moldagem com a mistura de fibra + resina PU tem efeito contrário, pois apresenta coeficiente negativo. Ou seja, quanto maior o volume de mistura durante a moldagem, maior será a densidade do compósito resultante, menor a porosidade aberta resultando assim em menor absorção de água pelas amostras. Deve-se observar que o volume de mistura na moldagem tem menor significância estatística neste estudo (<95%).

Figura 20: Diagrama de Pareto para a absorção de água (%) para o sistema compósito.



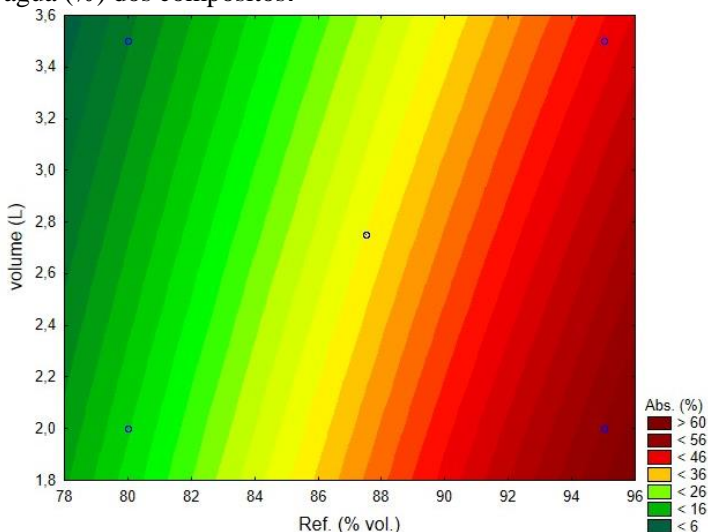
Fonte: Do autor (2015).

A Figura 21 apresenta o gráfico de superfície de resposta para absorção de água dos compósitos em função da fração volumétrica de fibras e do volume de mistura na moldagem. A superfície de resposta é uma ferramenta matemática muito útil no estudo de otimização de processos onde há influência de vários fatores simultaneamente. No gráfico de superfície de resposta observa-se que a absorção de água aumenta conforme se aumenta a fração de reforço (fibra de casca de arroz) e conforme se diminui o volume de mistura na moldagem, ou seja, quando se utiliza menor volume de mistura fibra/PU na cavidade de moldagem, o que resulta em uma mistura menos densa. Deve ser observado que o ajuste do modelo é bom,  $R^2 = 0,958$ .

Da Silva (2003), afirma em seu estudo que a absorção de água pela resina de poliuretano é menor que 1%, não havendo variação com o tempo de imersão, sendo mínima a influência do material na absorção de água do compósito. Entre os principais componentes de fibras lignocelulósicas, a hemicelulose é a principal responsável pela absorção de umidade da fibra, ainda que a lignina e a celulose não cristalina tenham também sua contribuição na absorção de água (DAS et al., 2000).

De acordo com Li et al. (2000), a absorção de água não ocorre exclusivamente pela superfície das fibras, mas também através do lúmen, região oca localizada no centro da fibra, por efeito de capilaridade. Segundo Da Silva (2003), nos compósitos com fibras curtas o grande número de extremidades de fibras favorece a absorção de água pelo lúmen, em comparação aos compósitos de fibras longas.

Figura 21: Gráfico de superfície de resposta para a absorção de água (%) dos compósitos.



Fonte: Do autor (2015).

Porém, a atualização da NBR 14810 (2013), eliminou o ensaio de absorção de água, provavelmente devido ao fato de que nenhuma norma faz referência aos resultados de absorção de água. Na Tabela 10 são apresentados alguns resultados de absorção de água obtidos na literatura. Percebe-se que não é possível fazer comparação direta dos resultados, pois os estudos utilizam diferentes condições e frações de reforços. Pode-se concluir que o compósito casca de arroz/PU desenvolvido neste estudo apresenta elevada absorção média em comparação aos demais.

Tabela 10: Absorção média de água do compósito desenvolvido em relação a outros compósitos com fibras naturais.

<b>Tipo de painéis</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
<b>Casca de arroz/PU (este estudo)</b>	<b>7,21</b>
Sisal/PU (Da Silva, 2003)	1,70
Coco/PU (Da Silva, 2003)	5,60
Coco/PP (Rozman et al., 2000)	5,00
<i>Eucalyptus grandis</i> /PP (Milagres et al., 2006)	33,00
Banana/Poliéster (Pothan et al., 1997)	12,00

Fonte: Do autor (2015).

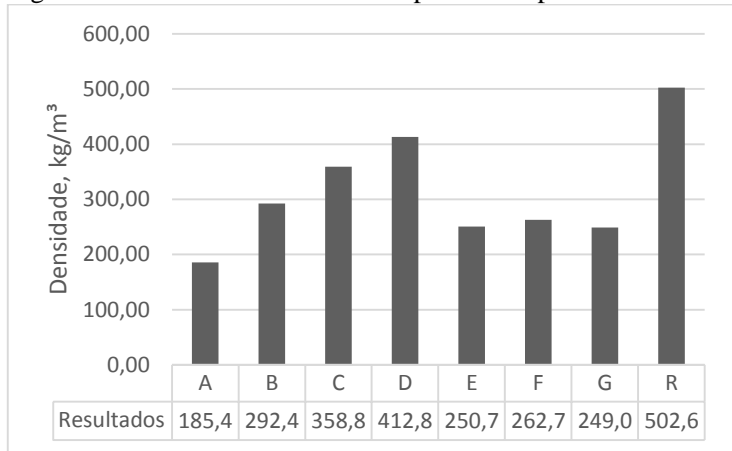
O estudo de Milagres et al., (2006), onde foi utilizada fração volumétrica de 75% de partículas de *Eucalyptus grandis* e 25% de polipropileno, resultou em uma absorção de água de 33%. Neste trabalho, o compósito com uma fração de 80% de casca de arroz e 20% de poliuretano apresentou absorção de água 26% menor, mostrando que em níveis de fração próximos obteve resultado satisfatório para o ensaio de absorção de água, em relação a outros tipos de materiais utilizados na formulação de diferentes compósitos.

### 5.3 DENSIDADE

A análise de densidade de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2013), é caracterizada pelo quociente da relação entre a massa e o volume de um corpo.

Os resultados obtidos nas amostragens do objeto de estudo são apresentados na Figura 22 em subsequência.

Figura 22: Resultados de densidade para o compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L;

Fonte: Do autor (2015).

Como observado na Figura 22, o aumento da densidade está relacionado ao aumento da massa de mistura do compósito, pois todas as amostras foram confeccionadas com os mesmos materiais, casca de arroz e resina PU. Desta forma, quanto maior a quantidade de mistura adicionada na cavidade de moldagem, maior será a densidade do compósito. Deve-se também considera a diferença de densidade dos materiais de partida, a resina PU e a casca de arroz. Na Tabela 11 é possível comparar a diferença de densidade de amostras com a mesma massa e a interferência das diferentes formulações.

Tabela 11: Comparação da diferença de densidade entre amostras com massas equivalentes.

<b>Amostras comparadas</b>	<b>Diferença de densidade (%)</b>
A x C	48,3
B x D	29,2

Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L;

Fonte: Do autor (2015).

Comparando-se as amostras é possível perceber um aumento de densidade relacionado ao uso de maior fração volumétrica de matriz. Desta forma, a densidade da matriz é o fator principal na densidade do compósito. No entanto, nas amostras onde foram utilizados os resíduos de usinagem como reforço, denominadas como amostras R, a densidade do compósito aumentou em 18% em relação ao compósito inicial, que foi usinado, com a mesma fração matriz/reforço. Este efeito é resultado do menor tamanho do resíduo de usinagem em relação à casca de arroz, o que resulta em menor espaçamento entre as fibras. Outro fato é a presença da resina de poliuretano curada sobre as fibras de reforço, o que aumenta a densidade ao compósito.

A Tabela 12 apresenta a análise de variância para a densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) dos compósitos. Os resultados apresentam alta confiabilidade: o fator F para a fração volumétrica de reforços é de  $\sim 11$ , indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 95,6%, estatisticamente significativa para o estudo da densidade do compósito desenvolvido. Novamente o volume de mistura na moldagem apresentou menor significância estatística.

Tabela 12: Análise de variância (ANOVA) para a densidade ( $\text{kg/m}^3$ ).

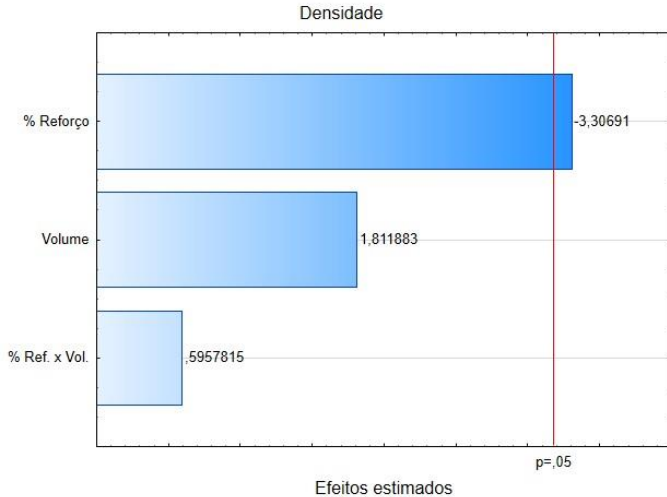
<b>Densidade (<math>\text{kg/m}^3</math>)</b>	<b>SQ</b>	<b>v</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Reforço (%)</b>	<b>21578</b>	<b>1</b>	<b>21578</b>	<b>10,9</b>	<b>0,0455</b>	<b>0,829</b>
Volume (L)	6478	1	6478	3,28	0,168	
Ref. $\times$ Vol.	700,4	1	700	0,355	0,593	
Erro	5920	3	1973			
<b>SQ<sub>total</sub></b>	<b>34676</b>	<b>6</b>				

Nota: SQ= somas quadráticas; v= variância ou grau de liberdade; MQ= médias quadráticas; F= probabilidade (fator de Fisher); p= confiabilidade; R<sup>2</sup>= ajuste do modelo.

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 23 apresenta o diagrama de Pareto para a densidade. Pode-se perceber que, com exceção da fração de reforço, os outros fatores apresentam baixa confiabilidade para a densidade, abaixo de 95%.

Figura 23: Diagrama de Pareto para a densidade ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) para o sistema compósito.

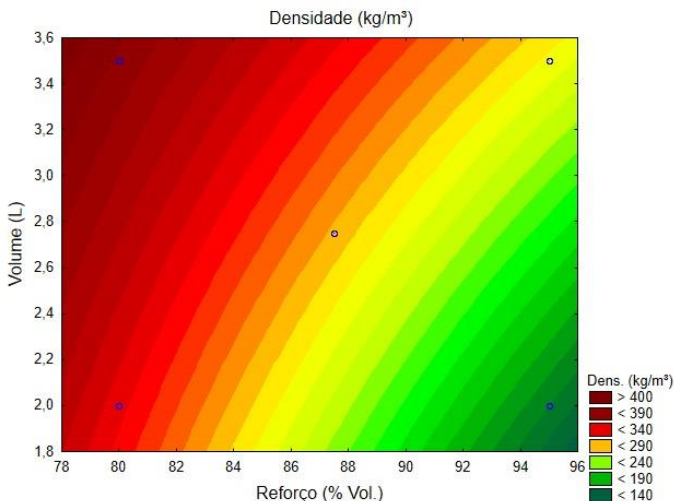


Pelo gráfico de Pareto a fração volumétrica de casca de arroz (reforço) tende a diminuir a densidade, pois seu coeficiente é negativo. Ou seja, quanto mais fibra é adicionada ao compósito, menor será sua densidade. O volume de enchimento da cavidade de moldagem com a mistura de casca de arroz+ resina PU tem efeito contrário, pois apresenta coeficiente positivo. Ou seja, quanto maior o volume de mistura durante a moldagem, maior será a densidade do compósito resultante. Deve-se observar que o volume de mistura na moldagem tem menor significância estatística neste estudo (<95%).

A Figura 24 apresenta o gráfico de superfície de resposta para densidade dos compósitos em função da fração volumétrica de fibras e do volume de mistura na moldagem. No gráfico de superfície de resposta observa-se que a densidade do compósito aumenta conforme se aumenta a fração de reforço (fibra de casca de arroz) e conforme se diminui o volume de mistura na moldagem, ou seja, quando se utiliza menor volume

de mistura PU/fibra na cavidade de moldagem, o que resulta em uma mistura menos densa. O ajuste do modelo é regular,  $R^2= 0,829$ .

Figura 24: Gráfico de superfície de resposta para a densidade ( $\text{kg/m}^3$ ) dos compósitos.



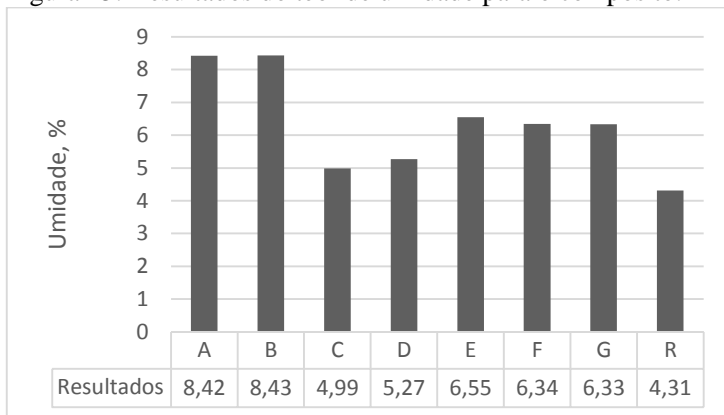
Fonte: Do autor (2015).

A densidade do compósito em função da variação do volume de mistura na moldagem e das frações volumétricas de matriz/reforço apresentou valor mínimo de  $186 \text{ kg/m}^3$  e máximo de  $412,8 \text{ kg/m}^3$  e a amostragem R uma densidade igual à  $502,6 \text{ kg/m}^3$ . Desta forma, os painéis de compósitos obtidos neste estudo são classificados como de baixa densidade segundo a norma ANSI/A 208.1 (1999), que especifica densidade inferior a  $640 \text{ kg/m}^3$  para baixa densidade. Por outro lado, a NBR 14810 (2013) especifica que painéis de média densidade apresentam variação entre  $551$  e  $750 \text{ kg/m}^3$ . Desta forma, os compósitos aqui desenvolvidos apresentam densidade inferior à norma brasileira para média densidade.

#### 5.4 TEOR DE UMIDADE

Os resultados das análises sobre o teor de umidade dos compósitos podem ser observados na Figura 25.

Figura 25: Resultados do teor de umidade para o compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L;

Fonte: Do autor (2015).

A Tabela 13 apresenta a análise de variância para o teor de umidade (%) dos compósitos. Os resultados apresentam, mais uma vez, alta confiabilidade: o fator F para a fração volumétrica de reforços é de 122, indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 99,8%, estatisticamente significativa para o estudo da umidade do compósito desenvolvido. O volume de mistura na moldagem não apresentou significância estatística.

Tabela 13: Análise de variância (ANOVA) para a umidade (%)

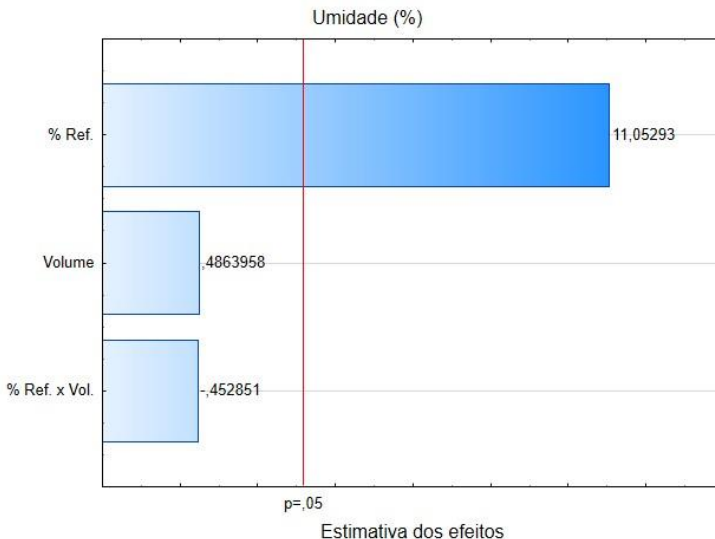
Umidade (%)	SQ	v	MQ	F	p	R <sup>2</sup>
Reforço (%)	10,9	1	10,9	122	0,00159	0,976
Volume (L)	0,021	1	0,021	0,237	0,66	
Ref. × Vol.	0,018	1	0,018	0,205	0,681	
Erro	0,267	3	0,0889			
SQ <sub>total</sub>	11,1	6				

Nota: SQ = somas quadráticas; v = variância ou grau de liberdade; MQ = médias quadráticas; F = probabilidade (fator de Fisher); p = confiabilidade; R<sup>2</sup> = ajuste do modelo.

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 26 apresenta o diagrama de Pareto para a umidade. Pode-se perceber que, com exceção da fração de reforço, os outros fatores não apresentam confiabilidade para a umidade ao nível de significância de 95%.

Figura 26: Diagrama de Pareto para a umidade (%) para o sistema compósito.



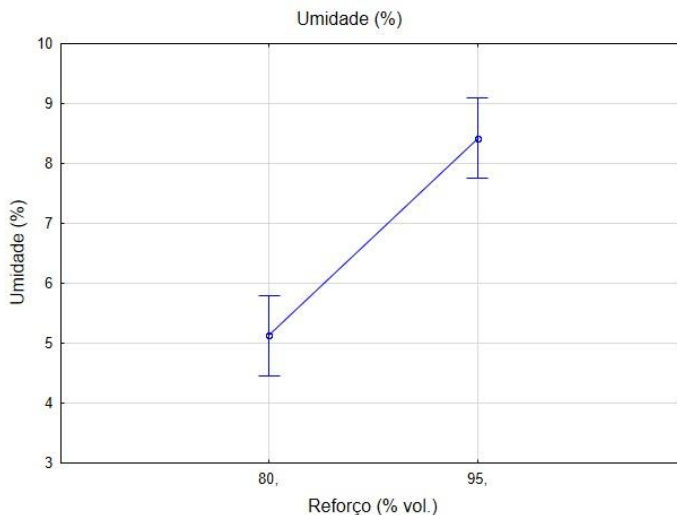
Fonte: Do autor (2015).

Pelo gráfico de Pareto a fração volumétrica de casca de arroz (reforço) tende a aumentar a umidade, pois seu coeficiente é positivo.

Quanto mais fibra é adicionada ao compósito, maior será sua umidade. O volume de enchimento da cavidade de moldagem com a mistura de fibra + resina PU não tem significância estatística ao nível de 95%.

A Figura 27 apresenta o gráfico de médias para umidade dos compósitos em função da fração volumétrica de fibras. Neste caso não se pode utilizar a representação gráfica de superfícies de resposta em função do volume de enchimento não ter significância estatística. No gráfico de médias observa-se que a umidade do compósito aumenta conforme se aumenta a fração de reforço (fibra de casca de arroz). O ajuste do modelo é bom,  $R^2 = 0,976$ .

Figura 27: Gráfico de médias para a umidade (%) dos compósitos.



Fonte: Do autor (2015).

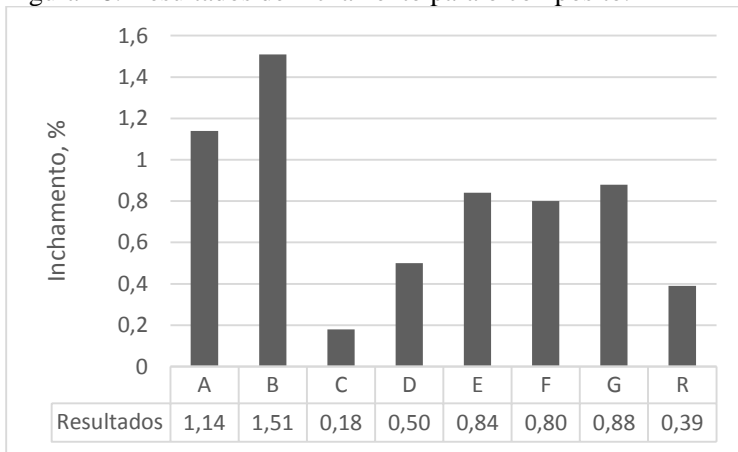
O aumento da umidade observado deve-se ao aumento da fração volumétrica do reforço. Segundo Moraes et al. (2011), a umidade presente na biomassa da casca de arroz é de cerca de 10%. De acordo com os resultados, a umidade do compósito está relacionada à fração da casca de arroz adicionada. Como a resina de PU (matriz) não apresenta umidade, o aumento de sua fração no compósito pode diluir/difundir a umidade do reforço no momento da formulação da massa a ser moldada. Como resultado o compósito final apresenta um teor de umidade inferior aos 10% da biomassa inicial da casca de arroz.

Conforme especifica a norma ANSI/A 208.1 (1999), o teor de umidade para painéis particulados é no máximo 10%. A NBR 14810 (2013) especifica para painéis de média densidade teores de umidade entre 5% e 13%. Desta forma, os painéis compósitos C (80% de casca de arroz e 2 L de mistura) e R apresentam um teor de umidade inferior ao estabelecido para painéis de média densidade. Porém, como o compósito é um material de baixa densidade, todas as amostras atendem à norma ANSI/A 208.1 (1999).

## 5.5 INCHAMENTO

Os resultados de inchamento para o compósito estudado são mostrados na Figura 28.

Figura 28: Resultados de inchamento para o compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L.

Fonte: Do autor (2015).

Os resultados mostram grande estabilidade dimensional do compósito obtido, e esta estabilidade está relacionada ao aumento da

fração volumétrica da matriz. Segundo Teixeira et al. (2002), quanto maior o número de partículas de reforço em um compósito, maior será a quantidade de sítios disponíveis para penetração de água no interior do mesmo. Assim, quanto menor a quantidade de partículas de reforço no compósito, menor será o inchamento do mesmo.

A Tabela 14 apresenta a análise de variância para o inchamento (%) dos compósitos. Os resultados apresentam altíssima confiabilidade: o fator F para a fração volumétrica de reforços é de 883, indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 99,92%, e o fator p para o volume de mistura é de 108, indicando uma confiabilidade dos resultados de 99,8%, ambas muito significativas para o estudo do inchamento do compósito desenvolvido. A interação entre os fatores não tem significância estatística.

Tabela 14: Análise de variância (ANOVA) para o inchamento (%).

Inchamento (%)	SQ	v	MQ	F	p	R <sup>2</sup>
Reforço (%)	0,97	1	0,97	883	0,0000837	0,997
Volume (L)	0,119	1	0,119	108	0,00189	
Ref. × Vol.	0,000625	1	0,000625	0,569	0,506	
Erro	0,0033	3	0,0011			
SQ <sub>total</sub>	1,09	6				

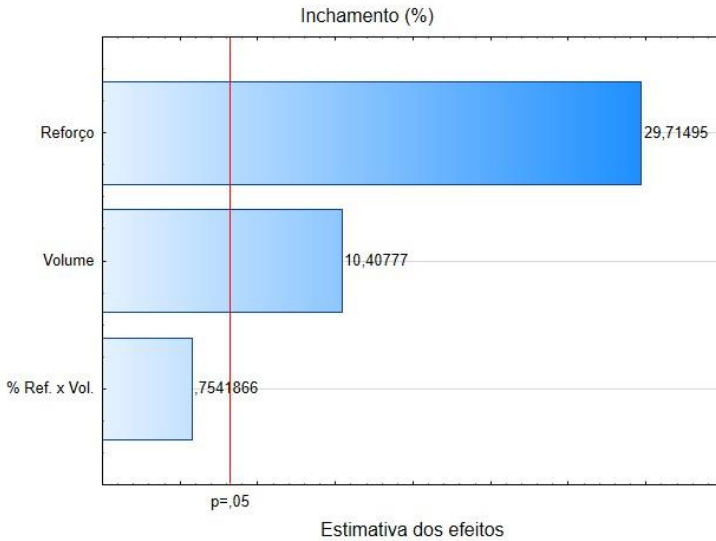
Nota: SQ = somas quadráticas; v = variância ou grau de liberdade; MQ = médias quadráticas; F = probabilidade (fator de Fisher); p = confiabilidade; R<sup>2</sup> = ajuste do modelo.

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 29 apresenta o diagrama de Pareto para o inchamento. Pode-se perceber que tanto a fração de reforço quanto o volume de mistura apresentam alta confiabilidade para o inchamento.

Pelo gráfico de Pareto tanto a fração volumétrica de casca de arroz (reforço) quanto o volume de enchimento da cavidade de moldagem com a mistura de fibra + resina PU tendem a aumentar o inchamento, pois ambos têm coeficiente positivo. Ou seja, quanto mais fibra é adicionada ao compósito ou quanto maior o volume de mistura durante a moldagem maior será o inchamento do compósito resultante. Deve-se observar que a interação entre estes fatores não tem significância estatística neste estudo (<95%).

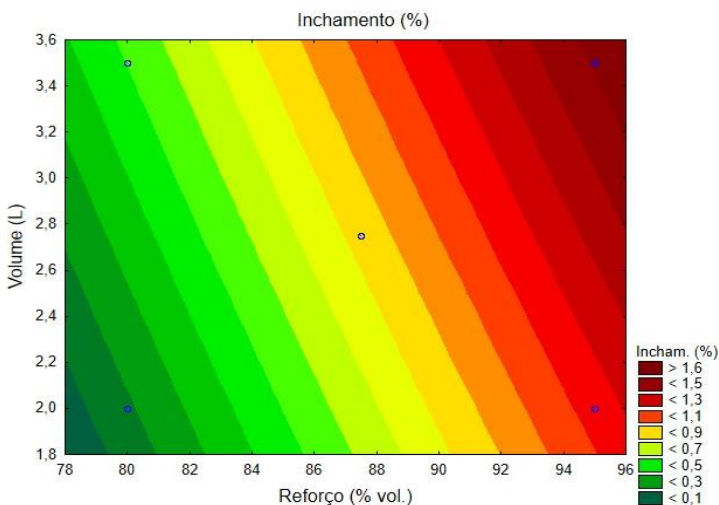
Figura 29: Diagrama de Pareto para o inchamento (%) para o sistema compósito.



Fonte: Do autor (2015).

A Figura 30 apresenta o gráfico de superfície de resposta para o inchamento dos compósitos em função da fração volumétrica de fibras e do volume de mistura na moldagem. No gráfico de superfície de resposta observa-se que o inchamento do compósito aumenta tanto com o aumento da fração de reforço (fibra de casca de arroz) no compósito quanto com o aumento do volume de mistura na moldagem, ou seja, quando se utiliza maior volume de mistura PU/fibra na cavidade de moldagem. O ajuste do modelo é muito bom,  $R^2 = 0,997$ .

Figura 30: Gráfico de superfície de resposta para o inchamento (%) dos compósitos.



Fonte: Do autor (2015).

Outro fator preponderante para a estabilidade dimensional é a homogeneidade da mistura. Devido à manipulação de um menor volume de mistura há maior possibilidade de contato da matriz com o reforço, e desta forma a matriz, resina de PU, pode recobrir toda superfície do reforço, as fibras de casca de arroz. Porém, como em escala de laboratório a mistura para confecção dos painéis foi feita manualmente, atribui-se esta variação à falta de homogeneidade das chapas aglomeradas durante sua manufatura (DACOSTA, 2004).

Como exemplo, a amostra A (95% de reforço de fibra e 2 L de mistura) apresentou 25% menos inchamento – e assim maior estabilidade dimensional – do que a amostra B (95% de reforço de fibra e 3,5 L de mistura), que apresenta a mesma fração de fibra/matriz e um maior volume de mistura. Provavelmente o maior volume apresenta menor homogeneidade durante a mistura.

As especificações de inchamento para materiais de média densidade, segundo a norma NBR 14810 (2013), são mostrados na Tabela 15.

Tabela 15: Especificação de inchamento por tipos de painéis; NBR 14810 (2013).

<b>Tipo de painéis</b>	<b>Inchamento máx. (%)</b>
P2	18
P3	14
P4	15
P5	10
P6	15
P7	10

Nota: (P2) Painéis não estruturais para uso interno em condições secas; (P3) Painéis não estruturais para uso em condições úmidas; (P4) Painéis estruturais para uso em condições secas; (P5) Painéis estruturais para uso em condições úmidas; (P6) Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos; (P7) Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

Fonte: ABNT (2013).

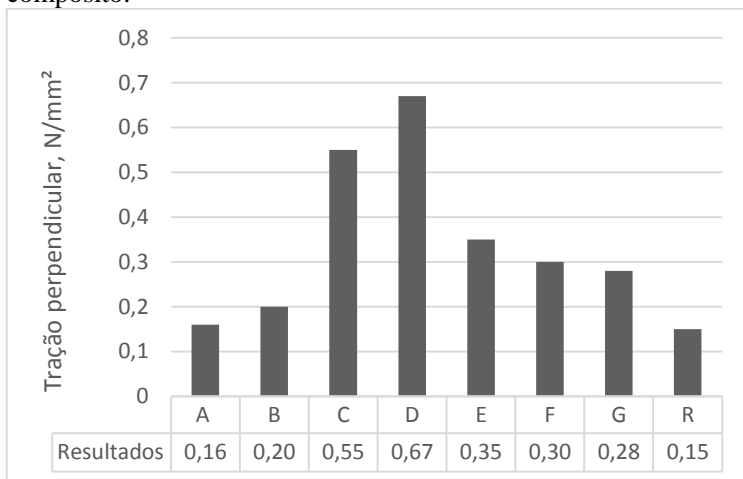
De acordo com as especificações da norma NBR 14810 (2013) para o percentual máximo de inchamento para materiais compósitos de média densidade, as amostras (compósito) desenvolvidas neste trabalho encontram-se dentro dos limites estabelecidos em relação aos valores máximos de referência. A amostra R, que utiliza resíduos de usinagem do compósito original, apresenta inchamento 98% inferior ao máximo permitido, em relação a painéis do tipo P2.

## 5.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR

A resistência a tração perpendicular pode ser entendida como a resistência que uma determinada amostra de painel compósito aglomerado oferece quando submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente a sua superfície, até sua ruptura NBR14810 (2013).

Os resultados para a tração perpendicular dos compósitos são apresentados na Figura 31.

Figura 31: Resultados para tração perpendicular para o compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L. Fonte: Do autor (2015).

Os resultados mostram que a resistência à tração perpendicular do compósito é diretamente proporcional à fração volumétrica entre matriz/reforço. Segundo Bucur (2006), a resistência à tração perpendicular está associada à ligação interna do compósito, ou seja, é a qualidade da adesão entre as partículas/fibras do painel e o adesivo utilizado como matriz. A Tabela 16 mostra uma comparação entre a resistência à tração perpendicular para diferentes frações de matriz/reforço com o mesmo volume de moldagem.

Tabela 16: Resistência à tração perpendicular para diferentes frações de matriz/reforço e mesmo volume de moldagem.

<b>Amostras</b>	<b>Resistência à tração perpendicular (%)</b>
A × C	70,91
B × D	70,15

Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L;

Fonte: Do autor (2015).

De acordo com a Tabela 18, a resistência à tração perpendicular está relacionada à fração volumétrica de matriz do compósito e não ao seu volume de moldagem. As amostras com maior fração volumétrica de matriz consequentemente apresentam também maior probabilidade de interação interfacial da matriz com o reforço. De acordo com Iwakiri et al. (1996), a ruptura normalmente ocorre no plano central da espessura da amostra, que corresponde à região de menor densidade e assim menor união entre as partículas/fibras.

Na Tabela 17 são apresentados os valores mínimos de tração perpendicular para material compósito de média densidade de acordo com a NBR 14810 (2013).

Tabela 17: Especificação de tração perpendicular por tipos de painéis; NBR 14810 (2013).

<b>Tipo de painéis</b>	<b>Tração perpendicular mín. (N/mm<sup>2</sup>)</b>
P2	0,35
P3	0,45
P4	0,35
P5	0,45
P6	0,50
P7	0,70

Nota: (P2) Painéis não estruturais para uso interno em condições secas; (P3) Painéis não estruturais para uso em condições úmidas; (P4) Painéis estruturais para uso em condições secas; (P5) Painéis estruturais para uso em condições úmidas; (P6) Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos; (P7) Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

Fonte: ABNT (2013).

A Tabela 18 apresenta a análise de variância para a resistência à tração perpendicular do compósito. Os resultados apresentam alta confiabilidade: o Fator F para a fração volumétrica de reforços é de 37, indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 99%, significativa para o estudo da resistência à tração perpendicular do compósito desenvolvido. O volume de mistura e a interação entre os fatores não têm significância estatística.

Tabela 18: Análise de variância (ANOVA) para resistência à tração perpendicular (kgf/mm<sup>2</sup>).

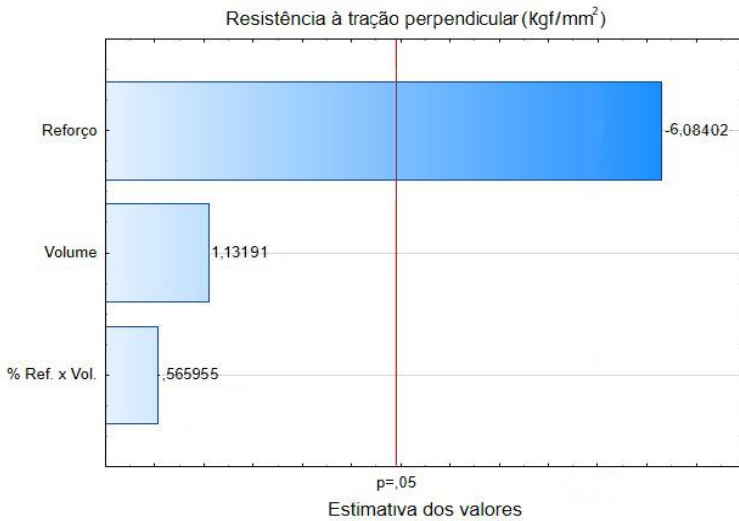
<b>Tração (kgf/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>SQ</b>	<b>v</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
<b>Reforço (%)</b>	<b>0,185</b>	<b>1</b>	<b>0,185</b>	<b>37</b>	<b>0,00892</b>	<b>0,928</b>
Volume (L)	0,0064	1	0,0064	1,28	0,34	
Ref. × Vol.	0,0016	1	0,0016	0,32	0,611	
Erro	0,015	3	0,0045			
<b>SQ<sub>total</sub></b>	<b>0,20886</b>	<b>6</b>				

Nota: SQ = somas quadráticas; v = variância ou grau de liberdade; MQ = médias quadráticas; F = probabilidade (fator de Fisher); p = confiabilidade; R<sup>2</sup> = ajuste do modelo.

Fonte: Do autor (2015).

A Figura 32 apresenta o diagrama de Pareto para a resistência à tração perpendicular. Pode-se perceber que apenas a fração de reforço apresenta alta confiabilidade para a resistência à tração perpendicular, mas tanto o volume de mistura quanto a interação entre os fatores não têm significância estatística. Pelo gráfico de Pareto, com relação à fração volumétrica de casca de arroz (reforço), quanto mais fibra é adicionada ao compósito, menor será a resistência à tração perpendicular, pois o coeficiente é negativo.

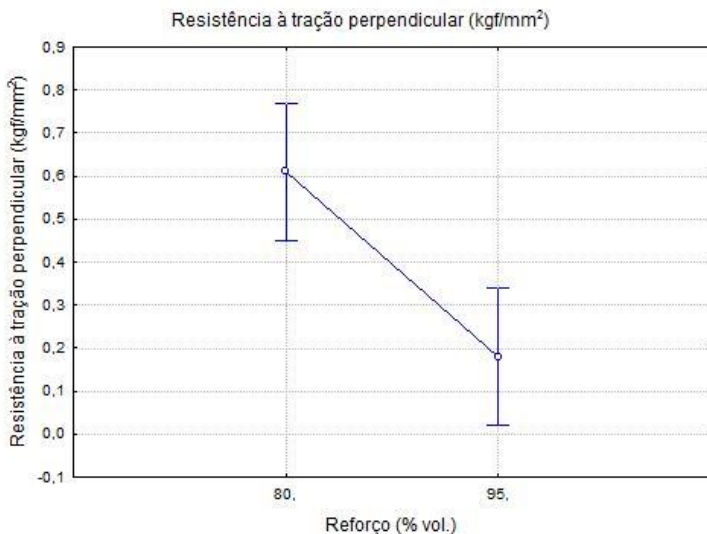
Figura 32: Diagrama de Pareto para resistência à tração perpendicular ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ) para o sistema compósito.



Fonte: Do autor (2015).

A Figura 33 apresenta o gráfico de médias para a resistência à tração perpendicular do compósito em função da fração volumétrica de fibras. No gráfico de médias observa-se que a resistência à tração perpendicular do compósito aumenta quando a fração de reforço (fibra de casca de arroz) no compósito diminui. O ajuste do modelo é bom,  $R^2=0,93$ .

Figura 33: Gráfico de médias para resistência à tração perpendicular ( $\text{kgf}/\text{mm}^2$ ) do compósito.



Fonte: Do autor (2015).

A resistência à tração perpendicular obtida para as amostras C (80% de fibras e 2,0 L de moldagem) e D (80% de fibras e 3,5 L de moldagem) atende à especificação mínima da norma NBR 14810 (2013) para painéis de média densidade. Porém, os resultados de resistência à tração perpendicular, obtidos para o compósito desenvolvido neste estudo, não atendem à especificação mínima para painéis estruturais para uso em condições severas de carga em ambientes úmidos.

Na Tabela 19 são apresentados os valores mínimos de referência para compósitos particulados de baixa densidade segundo a norma ANSI/A 208.1 (1999).

Tabela 19: Especificação de tração perpendicular por tipos de painéis; norma ANSI/A 208.1 (1999).

<b>Tipo de painéis</b>	<b>Tração perpendicular mín. (N/mm<sup>2</sup>)</b>
LD-1	0,10
LD-2	0,15

Fonte: ANSI (1999).

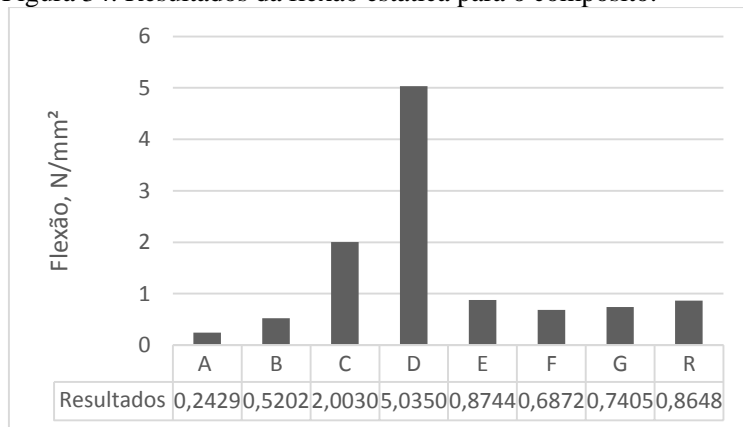
Considerando-se a norma ANSI/A 208.1 (1999), todas as amostras obtidas atendem os valores mínimos normatizados para painéis de baixa densidade dos tipos LD-1 e LD-2.

Deve-se salientar o resultado obtido para a amostra D, para esta amostra nenhum corpo de prova foi rompido durante o ensaio de tração. Sendo atingido o limite de leitura da célula de carga utilizada no equipamento (190 kgf) devido à geometria das garras utilizadas no ensaio.

## 5.7 RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

Os resultados obtidos para a flexão estática nos compósitos são mostrados na Figura 34.

Figura 34: Resultados da flexão estática para o compósito.



Nota: A é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 2 L; B é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95) e volume 3,5 L; C é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 2 L; D é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80) e volume 3,5 L; E é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; F é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; G é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5) e volume 2,75 L; R é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80) e volume de 3,5 L. Fonte: Do autor (2015).

Os resultados indicam um aumento significativo na resistência à flexão estática com o aumento de volume de mistura e de fração de resina PU. A Tabela 20 apresenta a análise de variância para a resistência à flexão estática (1 MPa = 1 N/mm<sup>2</sup>) dos compósitos. Os resultados apresentam alta confiabilidade: o fator p para a fração volumétrica de reforços é de

12, indicando uma confiabilidade dos resultados obtidos de 96%, significativa para o estudo da resistência à flexão estática do compósito desenvolvido. O volume de mistura e a interação entre os fatores têm menor significância estatística.

Tabela 20: Análise de variância (ANOVA) para resistência à flexão estática (kgf/mm<sup>2</sup>).

<b>Flexão (kgf/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>SQ</b>	<b>v</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Reforço (%)	9,84	1	9,84	12,2	0,0396	0,857
Volume (L)	2,74	1	2,74	3,4	0,163	
Ref. × Vol.	1,9	1	1,9	2,35	0,222	
Erro	2,42	3	0,806			
SQ <sub>total</sub>	16,9	6				

Nota: SQ = somas quadráticas; v = variância ou grau de liberdade; MQ = médias quadráticas; F = probabilidade (fator de Fisher); p = confiabilidade; R<sup>2</sup> = ajuste do modelo.

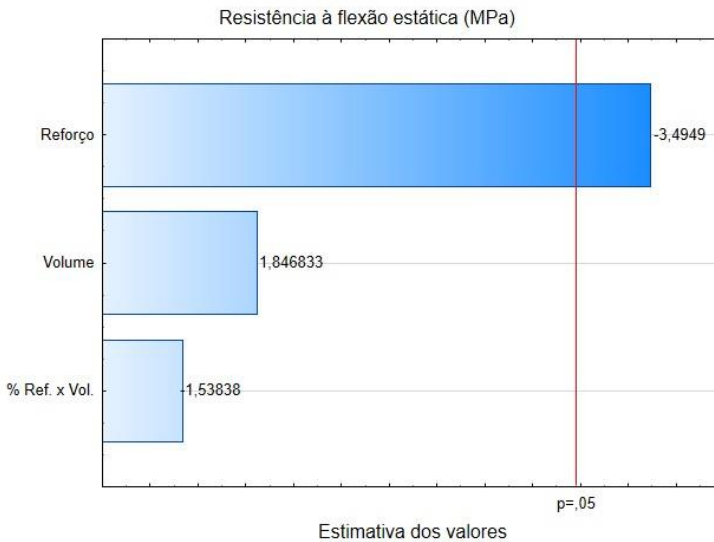
Fonte: Do autor (2015).

A Figura 35 apresenta o diagrama de Pareto para a resistência à flexão estática. Pode-se perceber que tanto a fração de reforço quanto o volume de mistura apresentam alta confiabilidade para resistência à flexão estática.

Pelo gráfico de Pareto a fração volumétrica de casca de arroz (reforço), quanto mais fibra é adicionada ao compósito, diminui a resistência à flexão estática, pois o coeficiente é negativo. O volume de enchimento da cavidade de moldagem com a mistura de fibra + resina PU tende a aumentar a resistência à flexão estática, pois tem coeficiente positivo. Quanto maior o volume de mistura durante a moldagem maior será a resistência à flexão estática do compósito resultante. Deve-se observar que tem menor significância estatística neste estudo (<95%).

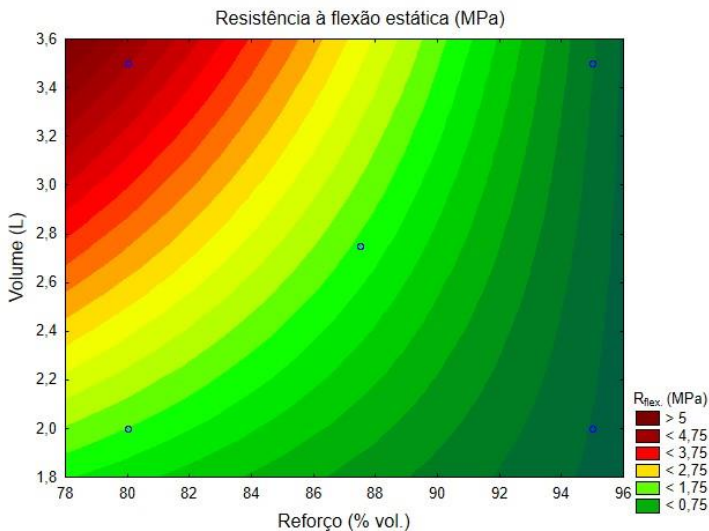
A Figura 36 apresenta o gráfico de superfície de resposta para a resistência à flexão estática dos compósitos em função da fração volumétrica de fibras e do volume de mistura na moldagem. No gráfico de superfície de resposta observa-se que a resistência à flexão estática do compósito aumenta quando a fração de reforço (fibra de casca de arroz) no compósito diminui e quando aumenta o volume de mistura na moldagem, ou seja, quando se utiliza maior volume de mistura PU/fibra na cavidade de moldagem. O ajuste do modelo é razoável, R<sup>2</sup>= 0,857.

Figura 35: Diagrama de Pareto para resistência à flexão estática (MPa) para o sistema compósito.



Fonte: Do autor (2015).

Figura 36: Gráfico de superfície de resposta para resistência à flexão estática (Mpa = kgf/mm<sup>2</sup>) dos compósitos.



Fonte: Do autor (2015).

De acordo com Da Silva (2003), a diminuição da resistência à flexão de compósitos de fibras curtas com o aumento da fração volumétrica de reforço ocorre devido a que as fibras curtas agem mais como defeito do que como reforço. Portanto, quando se aumenta a fração de fibras, maior será a quantidade de extremidades inseridas na matriz, resultando em um número maior de defeitos nesta.

Nos compósitos com fibras curtas as extremidades das fibras atuam como concentradores de tensão e assim funcionam como regiões de iniciação de trincas (AGARWAL; BROUTMAN; CHANDRASHEKHARA, 2006). Outro fator que pode ter diminuído a resistência mecânica são as fibras não tratadas. Conforme observaram Lu et al. (2005) em sua pesquisa, compósitos com fibras não tratadas apresentavam valores de resistência mecânica inferiores a compósitos com fibras tratadas.

O compósito desenvolvido neste trabalho tem caráter sustentável, sem tratamento das fibras, objetivando reduzir o custo energético para sua obtenção durante a moldagem e cura do material. A amostra D (80% de fibras e 3,5 L de volume de mistura) apresentou valor de resistência à flexão estática dentro da especificação limite para compósitos de baixa densidade de acordo com a norma ANSI/A 208.1 (1999). Esta norma define um limite mínimo de  $3 \text{ N/mm}^2$  (3 MPa) para compósitos classificados como LD-1 e um limite mínimo de  $5 \text{ N/mm}^2$  (5 MPa) para compósitos classificados como LD-2. Estes valores indicam uma possível aplicação deste material.

Além disto, o gráfico de superfície de resposta da figura 34 mostra que mesmo valores de resistência à flexão estática para a categoria LD-2 podem ser obtidos com este sistema.

## 5.8 TOXICIDADE AGUDA

Os ensaios toxicológicos podem mostrar substâncias passíveis de degradação ambiental. Com os resultados destes ensaios é possível planejar a disposição final no desenvolvimento de produtos.

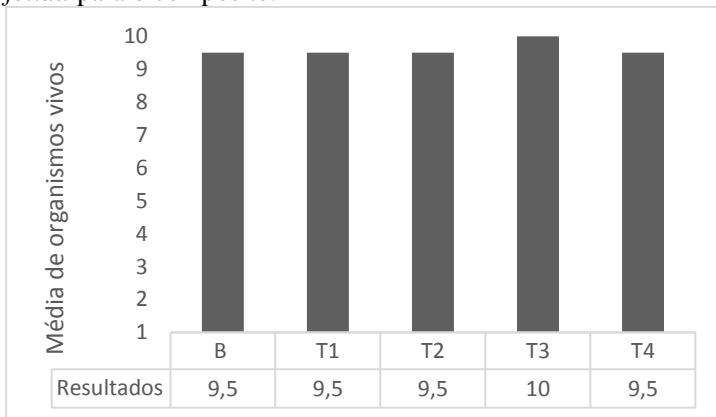
As comunidades biológicas refletem a integridade ecológica total dos ecossistemas, integrando os efeitos dos diferentes agentes impactantes e fornecendo uma medida agregada dos impactos. Os métodos consistem no levantamento e avaliação da abundância de organismos resistentes e a sensibilidade a concentrações de substâncias tóxicas, entre outros (BARBOUR et al., 1999).

Os resultados dos ensaios de toxicidade aguda para o compósito desenvolvido são apresentados a seguir:

### 5.8.1 Toxicidade para minhoca *Eisenia fetida*

Para este estudo, os índices de indivíduos que permaneceram vivos são mostrados na Figura 37.

Figura 37: Resultados de toxicidade com minhocas *Eisenia fetida* para o compósito.



Nota: B é amostragem controle solo artificial; T1 é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95); T2 é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5); T3 é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80); T4 é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80).  
Fonte: Do autor (2015).

De acordo com a média dos resultados obtidos, a concentração nominal das amostras de material compósito não teve interferência na taxa de mortalidade dos indivíduos. Não houve comprometimento da sobrevivência dos organismos em relação à amostra padrão, no tempo de exposição e nas condições de ensaio aplicadas.

Com os resultados obtidos é possível caracterizar todas as amostras dos materiais compósitos como “não tóxicas”. O uso de minhocas para realização de parâmetros de toxicidade de compostos que possivelmente podem ser dispostos em solos é de suma importância. Segundo Shuster, Subler e Mccoy (2002), as minhocas são ímpares por sua característica de integrar os processos físicos, químicos e biológicos do ecossistema decompositor.

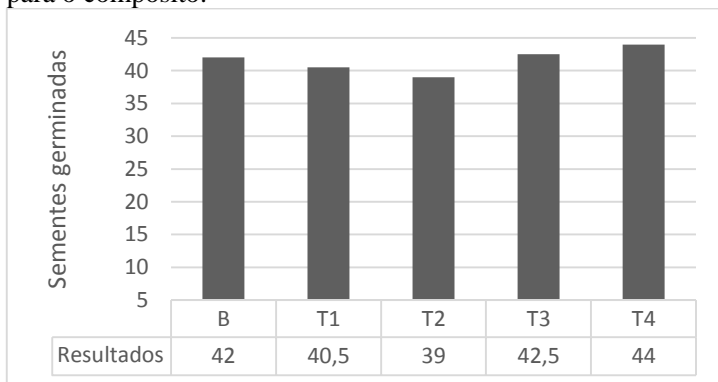
As minhocas ainda podem se expor e absorver os contaminantes da solução do solo por meio de contato direto (VIJVER et al., 2003). Devido a este contato, as minhocas podem se intoxicar, morrer, ou sobreviver, incorporando esses poluentes em seu tecido (CURRY, 2004).

A determinação das concentrações de poluentes em organismos como bioindicadores é de extrema utilidade, pois fornece informações sobre a biodisponibilidade dos poluentes e o padrão de contaminação (BEBBY, 2001).

### 5.8.2 Toxicidade para alface *Lactuca sativa*

Os resultados de toxicidade para sementes de alface são mostrados na Figura 38.

Figura 38: Resultados de toxicidade com alface *Lactuca sativa* para o compósito.



Nota: B é amostragem controle solo artificial; T1 é amostragem com fração matriz/reforço % (5/95); T2 é amostragem com fração matriz/reforço % (12,5/87,5); T3 é amostragem com fração matriz/reforço % (20/80); T4 é amostragem com resíduo do processo com fração matriz/reforço % (20/80).  
Fonte: Do autor (2015).

Os resultados mostram que a disposição de sementes no material compósito não interfere em seu índice de germinação, e se encontram dentro do índice de germinação mínimo de 50% em relação à amostra controle. Todas as amostras do compósito são caracterizadas como “não tóxicas”.

Noldin, Monache e Yunes. (2003) afirmam que a utilização de ensaios biológicos vegetais para o monitoramento de compostos tem sido

frequentemente incorporada à identificação e monitoramento de substâncias potencialmente tóxicas.

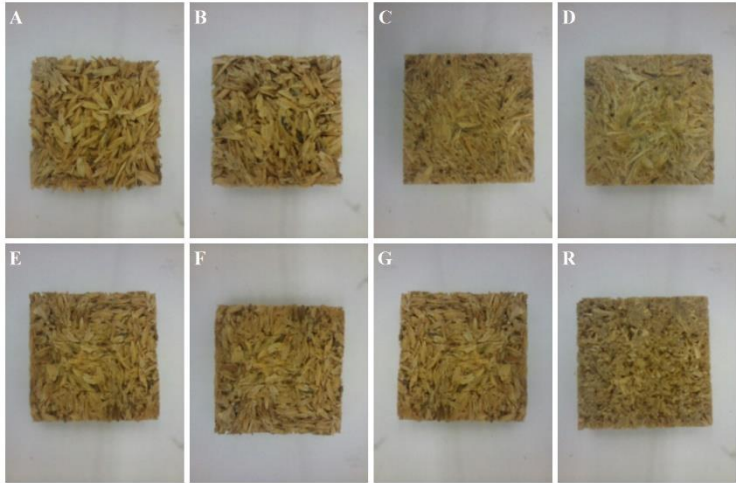
As sementes de alface são conhecidas pela alta vulnerabilidade, revelando alta sensibilidade às condições do ambiente, frequentemente inadequadas para o desenvolvimento inicial da planta (EIRA; MARCOS FILHO, 1990).

Neste estudo nenhuma das amostras apresentou potencial de inibição na germinação. É possível salientar que nas amostras T3 e T4 houve uma média de germinação maior que a do solo controle, pois provavelmente ocorreu grande interação ecológica das sementes com as matérias-primas do compósito, estabelecendo-se assim um ambiente propício à produção primária.

## 6 CONCLUSÃO

Os compósitos possíveis de serem obtidos através do processo de moldagem e o planejamento utilizado neste estudo estão ilustrados na Figura 39.

Figura 39: Amostras dos compósitos.



Fonte: Do autor (2015).

A caracterização físico-mecânica do compósito aglomerado de resina de poliuretano de óleo de mamona e casca de arroz, segundo o planejamento experimental estatístico utilizado, permite concluir que:

A absorção de água está relacionada à fração de fibra utilizada no compósito, ou seja, quanto maior a fração de reforço maior também a capacidade do compósito de absorver água. Em contrapartida, quanto maior o volume da mistura a ser moldada, menor a capacidade do compósito em absorver água. Provavelmente o aumento da densidade da mistura durante a formação do compósito tende a diminuir a porosidade da fibra e assim diminuir a absorção de água do compósito.

Como o volume da cavidade utilizada para obtenção dos corpos de prova era fixo, a variação da densidade do compósito está relacionada ao volume de mistura a ser moldada, sendo a fração de matriz (poliuretano de resina de mamona) o fator com maior efeito sobre a densidade no momento da formação do material. Desta forma, o compósito obtido é classificado como de baixa densidade segundo a norma ANSI/A 208.1

(1999), que estabelece como referência para compósitos de baixa densidade  $640 \text{ kg/m}^3$ . O compósito obtido é classificado como LD-1 ou LD-2.

A umidade do compósito aumenta com o aumento da fração de reforço (casca de arroz) em sua formulação. Como a casca de arroz tem umidade residual próxima a 10%, a fração de matriz (resina) tende a diminuir esse percentual e assim todas as amostras atendem à referência normatizada na ANSI/A 208.1 (1999), que estabelece no máximo 10% de umidade para compósitos de baixa densidade.

Com o aumento da fração de reforço e também com o aumento do volume da mistura a ser moldada há um aumento no percentual de inchamento do compósito. Outro fator que altera sua estabilidade dimensional é no momento de homogeneizar um grande volume de mistura, pois foi utilizado um processo manual que não permite uma homogeneização completa da mistura. Desta forma, as fibras (reforço) não são totalmente molhadas pela resina (matriz), deixando as fibras expostas a agentes promotores de inchamento, como a própria umidade ambiente. Porém, todas as amostras atenderam às especificações da NBR 14810 (2013).

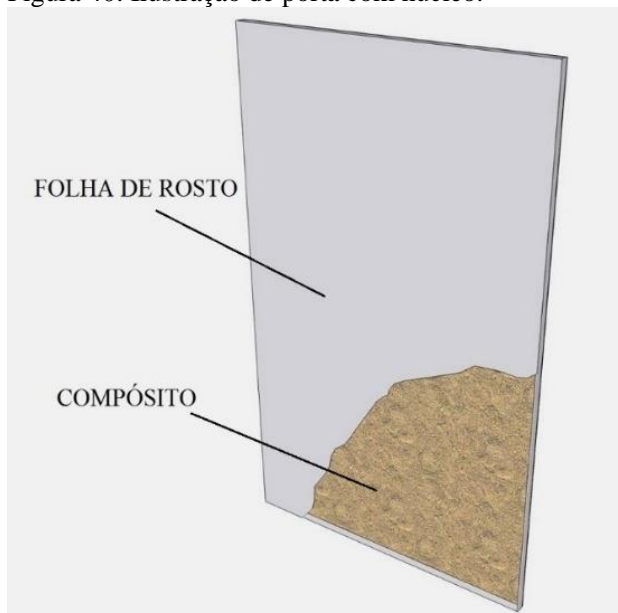
Os resultados de tração perpendicular indicam grande interação na interface entre matriz/reforço, tendo em vista que nenhum tratamento foi feito na superfície da fibra e sua formulação foi realizada de forma manual. Os resultados indicam que a ligação interna atende às especificações tanto da norma ANSI/A 208.1 (1999), para compósitos de baixa densidade, quanto para compósitos de média densidade descritos na norma NBR 14810 (2013), somente não atendendo aos requisitos necessários para painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes úmidos.

Os resultados para resistência à flexão mostram que os maiores valores são obtidos com o aumento da fração de matriz e o aumento do volume de mistura durante a moldagem. Deve-se observar que o processo de formação do compósito pode ser considerado sustentável, pois a fibra não foi submetida a qualquer tratamento superficial e não houve consumo energético no momento da moldagem, pois esta foi manual. Com relação ao comportamento mecânico, a amostra D atendeu às classificações LD-1 e LD-2 para compósitos de baixa densidade segundo a norma ANSI/A 208.1 (1999).

Os resultados de toxicidade realizados com minhocas da espécie *Eisenia fétida* e sementes de alface *Lactuca sativa* indicam a não toxicidade do compósito. Desta forma, o material pode ser descartado no meio ambiente, reforçando seu caráter sustentável.

Com relação ao possível uso a ser dado ao compósito desenvolvido, como a amostra D pode ser classificada como LD-1 e LD-2 de acordo com os valores de referência da norma ANSI/A 208.1 (1999), este pode ser utilizado como placa para portas com núcleo. A Figura 40, mostra um exemplo de sua aplicação:

Figura 40: Ilustração de porta com núcleo.



Fonte: Do autor (2015).

Outra sugestão de uso para painéis do compósito aglomerado desenvolvido seria em relação à amostra R, pois nesta foram usados resíduos (cavacos) de planagem e usinagem destes painéis, formados por partículas menores, viabilizando a produção de objetos mais elaborados como, por exemplo, armação de óculos, mostrada na Figura 41, e produzida com amostras de painéis do tipo R desenvolvidos neste estudo.

Figura 41: Armação de óculos feita com o compósito poliuretano de resina de mamona/casca de arroz.



Fonte: Do autor (2015).

Como a casca de arroz é um resíduo com grande capacidade de causar degradação ambiental e muito abundante na região sul de Santa Catarina, o uso desta em materiais compósitos como reforço torna possível agregar valor a este material. Além disso, deve-se salientar a reciclabilidade do produto desenvolvido, pois o resíduo (cavaco) obtido de sua planagem e usinagem pode ser utilizado novamente no processo de produção do compósito. Outro fator importante é o uso de uma matriz vegetal, de fonte renovável e atóxica durante manuseio e como produto final.

Como sugestão de trabalho futuro está o plantio da mamona em áreas degradadas pela mineração, pois a resina de poliuretano utilizada neste estudo é derivada de semente de mamona. Desta forma, há possibilidade de desenvolvimento local de um novo nicho econômico com o uso do resíduo da casca de arroz e de produtos químicos desenvolvidos a partir da semente de mamona proveniente de áreas degradadas. A produção de mamona em áreas degradadas pela mineração e o uso de resíduos agrícolas permitirá uma fonte de renda aos moradores destas áreas, dando assim sustentabilidade ao ciclo de produção deste material.

Deve-se ressaltar que na confecção dos painéis de compósito utilizando o dispositivo manual de moldagem desenvolvido neste estudo não há necessidade de energia para obtenção de calor ou mesmo de força de moldagem, por se tratar de um dispositivo simples e de baixo custo.

Desta forma, o compósito aglomerado à base de casca de arroz e resina de poliuretano de óleo de mamona desenvolvido neste trabalho é sustentável, sendo relevante nos âmbitos: ambiental, econômico e social.



## REFERÊNCIAS

ABNT- **NBR 14810: Chapas de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: Resíduos sólidos classificação**. Rio de Janeiro, 2004

\_\_\_\_\_. **NBR 15537: Ecotoxicologia terrestre: Ecotoxicologia aguda - Método de ensaio com minhocas**. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 14810: Painéis de partículas de media densidade**. Rio de Janeiro, 2013.

AGARWAL, Bhagwan D.; BROUTMAN, Lawrence J.; CHANDRASHEKHARA, K. **Analysis and performance of fiber composites**. John Wiley & Sons, 2006.

ANSI, Particleboard. American National Standard. **ANSI/A208**, particleboard. Gaithersburg, 1999.

ARROZEIRAS MUNDIARROZ SA. **Composição do arroz** [Internet]. 2014. Disponível em: <http://arrozeiras-mundiarroz.pai.pt/> Acesso em: 27 abr. 2015.

ASSIRI, Abdullah S. Ricin poisoning causing death after ingestion of herbal medicine. **Ann Saudi Med**, v. 32, n. 3, p. 315-7, 2012.

BARBIERI, José Carlos. Organizações inovadoras sustentáveis. **Caderno de Inovação**, v. 3, p. 5-9, 2007.

BARBOUR, Michael T. et al. Rapid bio assessment protocols for use in streams and wade able rivers. **USEPA, Washington**, 1999.

DE BARROS NETO, Benicio; SCARMINIO, Ieda Spacino; BRUNS, Roy Edward. **Planejamento e otimização de experimentos**. Editora da UNICAMP, 1995.

BASSINELLO, Priscila Zaczuk.; CASTRO, Emilio. da Maia. Arroz como alimento. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2004.

BEEBY, Alan. What do sentinels stand for? **Environmental Pollution**, v. 112, n. 2, p. 285-298, 2001.

BOFF, Leonardo. **História da sustentabilidade**, v. 26, p. 11-2007, 2008.

BORTOLETO, Ana Paula et al. **The Citizen Participation Inside The Integrated Solid Waste Management–Porto Alegre Case**. SOLID WASTE TECHNOLOGY AND MANAGEMENT., p. 1079-1080, 2006.

BRASIL, Anna Maria. **Equilíbrio ambiental & resíduos na sociedade moderna**. Faarte Editora, 2007.

BUCUR, V. **Acoustics of wood**. Berlin: Springer-Verlag, 2006.

BUTTON, Sérgio T. **Metodologia para planejamento experimental e análise de resultados**. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/pos-graduacao/IM317/apostila.pdf>. Acesso 04/2015.  
Acesso em: 27 abr. 2015.

CANGEMI, José Marcelo. **Biodegradação de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2006. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHIERICE, Gilberto Orivaldo. Pesquisa e desenvolvimento de biomateriais baseados em poliuretanas derivadas do óleo de mamona. **Pesquisa e desenvolvimento de biomateriais baseados em poliuretanas derivadas do óleo de mamona**, 1994.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Relatório Brundtland. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2014.

\_\_\_\_\_. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v.2, Safra 2014/2015, n.7, Brasília, p.1-100, Abril 2015.

CURRY, James P. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. **Earthworm ecology**, p. 91-113, 2004.

DACOSTA, Lourdes Patrícia Elias. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas aglomeradas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DAFICO, Dario de Araujo. **Estudo da dosagem do concreto de alto desempenho utilizando pozolanas provenientes da casca de arroz**. 2001. 191 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

DALY, Herman. Políticas para o desenvolvimento sustentável. **Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas**. S. Paulo: Cortez, p. 179-192, 1997.

DAS, S. et al. Effect of steam pretreatment of jute fiber on dimensional stability of jute composite. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 76, n. 11, p. 1652-1661, 2000.

DA SILVA, Rosana Vilarim. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. 2003.

DELLA, Viviana Possamai; KUHN, Ingeborg; HOTZA, Dachamir. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 778-782, 2001.

DELLA, Viviana Possamai et al. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1175, 2006.

DEMAJOROVIC, Jacques. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 88-93, 1995.

DIAS, Reinaldo. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. Atlas, 2011.

EIRA, Mirian; MARCOS FILHO, Júlio. Condicionamento osmótico de sementes de alface: I. Efeitos sobre a germinação. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 12, n. 1, p. 9-27, 1990.

EPAGRI. **Histórico da produção de arroz irrigado**, 2015, Disponível em: <<http://www.epagri.sc.gov.br>> Acesso em: 30 abr. 2015.

FERREIRA, Regis de Castro; GOBO, Júlio C.C; CUNHA, Ananda H.N. **Incorporação de casca de arroz e de braquiária e seus efeitos nas propriedades físicas e mecânicas de tijolos de solo-cimento**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.28, n.1, p.1-11, jan./mar. 2008.

FOLETTTO, Edson Luiz et al. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v. 28, n. 6, p. 1055, 2005.

FONSECA, M.R.G. **Isolantes térmicos a partir de cinza de casca de arroz: obtenção, caracterização de propriedades e sua relação com a microestrutura**. 1999. Tese (Doutorado) Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

FREIRE, Estevão; MONTEIRO, Elisabeth EC; CYRINO, Julio CR. Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Polímeros**, p. 25-32, 1994.

GUEDES, Benedito; FILKAUSKAS, Mario E. **O plástico**. Erica, 1997.

GULER, Cengiz; COPUR, Yalcin; TASCIOGLU, Cihat. The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (Arachishypoqaea L.) and European Black pine (Pinusnigra Arnold) wood chips. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 8, p. 2893-2897, 2008.

IMPERVEG. **Laudo Resina IMPERVEG® RP 1315 A**. Disponível em:<[http://imperveg.com.br/wp-content/uploads/2015/04/FICHA\\_TECNICA\\_IMPERVEG\\_RP\\_1315\\_A.pdf](http://imperveg.com.br/wp-content/uploads/2015/04/FICHA_TECNICA_IMPERVEG_RP_1315_A.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2015.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de partículas de madeira

aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.

\_\_\_\_\_. Painéis de madeira aglomerada. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, p. 137-182, 2005.

JÖHR, Hans. **O verde é o negócio**. Saraiva, 1994.

JOSHI, Satish V. et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? **Composites Part A: Applied science and manufacturing**, v. 35, n. 3, p. 371-376, 2004.

KIPERSTOK, Asher; COELHO, Arlinda; TORRES, Ednildo Andrade. Prevenção da poluição. In: **Prevenção da poluição**. CNI/SENAI, 2002.

KIPERSTOK, Asher; MARINHO Maerbal. **Ecologia Industrial e Prevenção da Poluição: Uma Contribuição Ao Debate Regional Bahia Análise & Dados**, SEI, V.10, nº4, 2001.

LAUFENBERG, Günther; KUNZ, Benno; NYSTROEM, Marianne. Transformation of vegetable waste into value added products::(A) the upgrading concept;(B) practical implementations.**Bioresource Technology**, v. 87, n. 2, p. 167-198, 2003.

LEFF, Enrique. **Discursos sustentáveis**. Tradução de Silvana Cobucci Leite. São Paulo: Cortez, 2010.

LI, Yan et al. Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. **Composites science and technology**, v. 60, n. 11, p. 2037-2055, 2000.

MALLICK, Pankar K. **Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design**.CRC press, 2010.

MATTOSO, Luiz Henrique C.; FRAGALLE, Edilson Pepino. Uso de fibras vegetais na indústria automobilística: necessidade ecológica, oportunidade para o Brasil.**Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 4, n. 1, p. 9-1, 1996.

MERLINI, Claudia. **Análise experimental de compósitos de**

**poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras de bananeira.** 2011. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais, Florianópolis.2011.

MILAGRES, Emerson Gomes et al. Compósitos de partículas de madeira de *Eucalyptus grandis*, polipropileno e polietileno de alta e baixa densidades. **Revista Árvore**, v. 30, n. 3, p. 463-470, 2006.

MILANESE, Andressa Cecília. **Caracterização de compósitos de matrizes poliméricas reforçados com fibra de sisal e de vidro**, Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.

MORAIS, Márcia R. et al. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2011.

NOLDIN, Vânia Floriani; et al.. Composição química e atividade biológica de *Cynaras colymus* L. cultivada no Brasil. **Química Nova**, São Paulo. v.26, n.3, p.331-334, 2003.

OLIVEIRA Carolina Rezende M.; TANNOUS Katia. **Fluidodinâmica de biomassa em leito fluidizado gasoso**. 5f. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2009 Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

PARDINI, Luiz C.; LEVY NETO, Flaminio. **Compósitos Estruturais—Ciência e Tecnologia**. Edição. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 2006.

PENNA, Carlos Gabaglia. **O estado do planeta: sociedade de consumo e degradação ambiental**. Editora Record, 1999.

PEREIRA, José Eduardo. **Minhocas: manual prático**. NBL Editora, 1997.

PINTO, Mario da Silva (coord.). **A coleta e disposição do lixo no Brasil**. Rio de Janeiro: FGV, 1979.

PNUD, Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Consumo sustentável**. Trad. Admond Ben Meir. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente/IDEC/ Consumers International, 1998.

RAYNAUT, Claude; ZANONI, Magda. **La Construction de l'interdisciplinarité en Formation intégrée de l'environnement et du Développement**. Paris, Unesco, 1993.

ROWELL, Roger M. A new generation of composite materials from agro-based fiber. In: **Polymers and Other Advanced Materials**. Springer US, p. 659-665. 1995.

ROWELL, Roger M. et al. Utilization of natural fibers in plastic composites: problems and opportunities. **Lignocellulosic-plastic composites**, p. 23-51, 1997.

SEBATAI, Calderoni. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. São Paulo: Humanitas/FFLCH/USP, 1997.

SHUSTER, W. D.; SUBLER, S.; MCCOY, E. L. The influence of earthworm community structure on the distribution and movement of solutes in a chisel-tilled soil. **Applied Soil Ecology**, v. 21, n. 2, p. 159-167, 2002.

SILVA, Devanildo Braz. **Sustentabilidade no Agronegócio: dimensões econômica, social e ambiental**. Comunicação & Mercado/UNIGRAN, Dourados-MS, v.01, n.03. 2014.

SISINNO, Cristina Lucia Silveira; OLIVEIRA, Rosália Maria de. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde: uma visão multidisciplinar**. Fiocruz, 2006.

STRAUCH, Manuel; DE ALBUQUERQUE, Paulo Peixoto. **Resíduos: como lidar com recursos naturais**. Oikos, 2008.

SWAMY, R. Narayan. Fibre reinforcement of cement and concrete. **Matériaux et Construction**, v. 8, n. 3, p. 235-254, 1975.

TRIOLA, Mario F. **Essentials of statistics**. Boston, MA, USA: Pearson Addison Wesley, 2008.

TCHOBANOGLIOUS, George et al. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. McGraw-Hill, Inc., 1993.

TEIXEIRA, Divino Eterno et al. Confeção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Rev. Floresta e Ambiente**, v.9, n.1, p.72-80, 2002.

TIMOFIECSYK, Fabiana do Rocio; PAWLOWSKY, Urivald. **Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão**. B. CEPPA, p. 221-236. 2000.

URSINI, Tarcila Reis; BRUNO, Giuliana Ortega. A gestão para a responsabilidade social e o desenvolvimento sustentável. **Revista Fundação de Apoio à Tecnologia**, 2005.

US EPA. **Ecological Effects Test Guidelines: Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test**, Washington, April 1996.

VIJVER, Martina G. et al. Oral sealing using glue: a new method to distinguish between intestinal and dermal uptake of metals in earthworms. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 35, n. 1, p. 125-132, 2003.

VILAR, Walter Dias. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. Vilar Consultoria, 1998.

WALTER, Melissa; MARCHEZAN, Enio; AVILA, Luis Antonio de. Arroz: composição e características nutricionais. **Ciência rural**, v. 38, n. 4, p. 1184-1192, 2008.