UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

PAINÉIS ALTERNATIVOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS TERMOPLÁSTICOS E DA PUPUNHEIRA (*Bactris gasipaes* Kunth)

HUMBERTO FABRIZZI DE FIGUEIREDO PUPO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Fevereiro – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

PAINÉIS ALTERNATIVOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS TERMOPLÁSTICOS E DA PUPUNHEIRA (*Bactris gasipaes* Kunth)

HUMBERTO FABRIZZI DE FIGUEIREDO PUPO

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Fevereiro - 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Pupo, Humberto Fabrizzi de Figueiredo, 1982-
P984p Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (***Bactris gasipaes*** Kunth) / Humberto Fabrizzi de Figueiredo Pupo. - Botucatu : [s.n.], 2012
xi, 81 f. : il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Alcides Lopes Leão
Inclui bibliografia

1. Compósitos. 2. Pupunha. 3. Termoplásticos. 4. Construção civil 5. Painéis. 6. Indústria moveleira. I. Leão, Alcides Lopes. II. Universidade Estadual Paulista. "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu).Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: PAINÉIS ALTERNATIVOS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS TERMOPLÁSTICOS E DA PUPUNHEIRA (*Bactris gasipaes* Kunth)

ALUNO: HUMBERTO FABRIZZI DE FIGUEIREDO PUPO

ORIENTADOR: PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

PROF. DR. HOLMER SAVASTANO JUNIOR

Data da Realização: 10 de fevereiro de 2012.

DEDICO ESTE TRABALHO

A minha mãe, meus irmãos, minha avó, meus amigos e demais familiares, pela compreensão à minha ausência para dedicar-me a este trabalho e pela ajuda nos momentos difíceis da vida.

E, principalmente, ao meu pai, que sempre me incentivou e ajudou, apoiando meu modo de pensar com relação à proteção do meio ambiente e ao aproveitamento de resíduos para a criação de novos materiais que não agridam o NOSSO meio de vida.

E a todas as pessoas que, assim como eu, acreditam que, se cada um fizer a sua parte, possamos fazer com que o mundo se torne um lugar mais justo e ambientalmente desenvolvido.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP).

Ao coordenador da Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) da Faculdade de Ciências Agronômicas.

Ao professor Alcides Lopes Leão, pela amizade, orientação e ensinamentos transmitidos.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos (RESIDUAL): Adriana Ferla, Evaristo Gonçalves, Nilza Regina da Silva, Fernanda Bertozzo, Sivoney Ferreira de Souza, Maria Angélica S. de Toledo, Mariana Caldeira, Daniele Chiarelli, Matheus Zorzetto, Vítor Surian Gamba, Vinícius Menegale, Flávia Figueira Silvestre, Márcia Morais, pelo companheirismo e grandes momentos que passamos em Congressos, disciplinas, festas ou mesmo dentro do laboratório.

Ao técnico Carlos Roberto pela ajuda laboratorial.

Aos técnicos Eduardo e Diego, que trabalharam no Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos (RESIDUALL) do Departamento de Recursos Naturais – Ciências Ambientais da UNESP, Campus Botucatu, pela amizade e ajuda no experimento.

Aos professores Hernando Alfonso Lara Palma, Gilson Volpato e em especial ao professor Adriano Wagner Ballarin pelas dúvidas esclarecidas ao longo de minha pesquisa e por emprestar seu laboratório para análises mecânicas.

Ao técnico Ailton do Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus de Botucatu, pela grande ajuda nos ensaios mecânicos e por sempre estar disposto a ajudar.

Ao pessoal da manutenção pelos consertos e quebra galhos no laboratório.

Aos amigos e alunos de Doutorado da Zootecnia Ms. Fabrizia Otani e Ms. Michel de Castilhos, pelo auxílio nas análises dos dados estatísticos.

Às secretárias do Departamento de Pós-graduação, pelo atendimento e pelas dúvidas esclarecidas.

Ao pessoal da biblioteca da FCA-UNESP, pela gentileza no atendimento.

Aos alunos, professores e funcionários do Departamento de Ciências Ambientais.

Ao pessoal da marcenaria, em especial ao funcionário Edson pela grande ajuda com os cortes perfeitos dos painéis e pela disposição em ajudar.

À Fernanda Pierre e a Eucatex por disponibilizar seu Laboratório de Processos para análises.

Aos sócios Luís e Sérgio da Rosolen Indústria e Comércio Ltda, situada no município de Cajobi-SP, pela doação dos resíduos da pupunha e pelo apoio à pesquisa.

À Empresa Plastitech, pela doação dos resíduos termoplásticos.

À Empresa Brascola Ltda, pela doação da cola Araldite e a funcionária Cristine Cabrelli pelo contato.

Às funcionárias Débora e Rosana, que fazem a limpeza do Departamento de Ciências Ambientais, por deixarem sempre tudo limpo e organizado.

A todos os funcionários da FCA, que de maneira direta ou indireta participaram na elaboração deste trabalho.

Agradeço à CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado.

E a todos que colaboraram para a realização desta pesquisa.

A todos meu muito obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS..... IX
LISTA DE FIGURAS..... X
RESUMO..... 1
SUMMARY..... 3
1 INTRODUÇÃO..... 5
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 8
2.1 Reciclagem de resíduos sólidos..... 8
2.2 Resíduos industriais - Polímeros termoplásticos..... 9
2.2.1 Polipropileno (PP)..... 11
2.2.2 Polietileno de alta densidade (PEAD)..... 12
2.2.3 Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)..... 12
2.3 Resíduos Agroindustriais – Resíduos da pupunheira..... 13
2.3.1 Histórico e mercado..... 14
2.3.2 Palmito..... 16
2.3.3 Resíduos – Bainhas externas e medianas..... 17
2.4 Compósitos..... 18
2.4.1 Fibras naturais e artificiais..... 23
2.4.1.1 Compósito: Fibra artificial + Polímeros..... 25
2.4.1.2 Compósito: Fibra natural + Polímero..... 26
3 MATERIAL e MÉTODOS..... 30
3.1 Matérias-primas..... 30
3.1.1 Resíduos industriais – Polímeros termoplásticos..... 30
3.1.2 Resíduos agroindustriais – Resíduos da pupunheira..... 31
3.2 Produção das partículas, secagem e classificação..... 33
3.3 Caracterização das partículas dos resíduos..... 34
3.3.1 Densidade aparente..... 34
3.3.2 Umidade..... 34
3.3.3 Granulometria..... 35

3.3.4 Caracterização química dos Resíduos da Pupunha (RP)..... 36
3.4 Confecção dos painéis..... 36
3.4.1 Testes piloto..... 37
3.4.1.1 Teste da temperatura interna do painel com termopar..... 37
3.4.1.2 Temperatura de prensagem..... 38
3.4.1.3 Tempo de prensagem..... 39
3.4.1.4 Pressão de prensagem..... 39
3.4.2 Variáveis finais do processo..... 39
3.4.3 Mistura das partículas..... 41
3.4.4 Formação do colchão e termoformagem por compressão..... 41
3.5 Ensaios físicos e mecânicos em corpos de prova dos painéis..... 44
3.5.1 Ensaios Físicos..... 45
3.5.1.1 Inchamento em espessura e Absorção de água após 2 horas de imersão..... 46
3.5.1.2 Inchamento em espessura e Absorção após 24 horas de Imersão... 47
3.5.1.3 Teor de umidade..... 47
3.5.2 Ensaios Mecânicos..... 48
3.5.2.1 Flexão Estática..... 48
3.5.2.2 Tração Perpendicular à Superfície (colagem interna)..... 49
3.6 Delineamento estatístico e análises..... 50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 52
4.1 Caracterização das partículas..... 53
4.1.1 Densidade aparente e teor de umidade das partículas..... 53
4.1.2 Distribuição granulométrica das partículas..... 53
4.1.3 Caracterização química das partículas dos resíduos da pupunheira (bainhas externas e medianas)..... 56
4.2 Índice de fluidez..... 57
4.3 Propriedades físicas dos painéis..... 57
4.4 Propriedades mecânicas dos painéis..... 61
4.5 Enquadramento tecnológico dos tratamentos (de acordo com a norma ANSI) 64

4.6 Painéis – Correlação de Pearson..... 68
4.7 Considerações Finais..... 70
5 CONCLUSÕES..... 72
6 REFERÊNCIAS..... 75

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Utilização do plástico no Brasil.....	10
2	Vantagens dos compósitos.....	21
3	Mercados que utilizam compósitos como matéria-prima.....	22
4	Porcentagem de cada resíduo termoplástico na mistura.....	31
5	Composição dos 7 tratamentos	37
6	Temperaturas dos pratos da prensa e da camada interna do painel.....	38
7	Composição dos 7 tratamentos.....	52
8	Resultados dos estudos das partículas: Densidade e umidade das partículas utilizadas.....	53
9	Distribuição em tamanho das partículas dos resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS).....	53
10	Resultados médios da distribuição em tamanho das partículas dos resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).....	56
11	Valores de índice de fluidez obtidos para os polímeros termoplásticos.....	57
12	Valores médios de teor de umidade e de densidade.....	58
13	Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água.....	59
14	Valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.....	60
15	Valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e tração perpendicular à superfície (TP).....	62
16	Classificação, valores mínimos e uso recomendado de painéis pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993).....	64
17	Resultados das propriedades físicas e mecânicas.....	65
18	Classificação dos tratamentos por categoria de acordo com a norma ANSI A208.1.....	67
19	Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes aos ensaios físicos e mecânicos.....	67
20	Correlações de Pearson entre as médias das variáveis dos ensaios físicos e mecânicos.....	68

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Municípios com coleta seletiva no Brasil.....	10
2	Média da composição gravimétrica da coleta seletiva.....	11
3	Perfil dos plásticos.....	11
4	Pupunheiras jovem e adulta.....	13
5	Diagrama esquemático de uma palmeira adulta.....	14
6	Extração do palmito e pré-limpeza do estipe.....	16
7	Palmitos envoltos com cascas e algumas bainhas medianas que serviram como proteção durante o transporte até a indústria.....	17
8	Resíduos da pupunha.....	18
9	Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras.....	20
10	Resíduos termoplásticos no pátio da recicladora.....	30
11	Estipe e resíduos da pupunheira úmidos.....	33
12	Resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).....	34
13	Resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS).....	34
14	Peneira vibratória.....	35
15	Misturador.....	35
16	Termopar inserido na camada interna do colchão e datalogger com termopar medindo a temperatura no momento da prensagem do painel registrando as temperaturas na operação de prensagem.....	37
17	Variação da temperatura na camada interna do painel x tempo de prensagem.	38
18	Caixa formadora do painel.....	42
19	Colchão pré-moldado.....	42
20	Prensa Hidráulica.....	43
21	Painel pronto para ser mapeado.....	43
22	Fluxograma das etapas do trabalho.....	44
23	Plano de corte dos corpos de provas (TP - Tração Perpendicular à Superfície – colagem interna, AB – Absorção de Umidade, FE - Flexão Estática).....	45

24	Corpos de prova dos ensaios físicos.....	46
25	Corpos de prova dos ensaios mecânicos.....	48
26	Ensaio de flexão estática.....	49
27	Ensaio de tração perpendicular à superfície.....	50
28	Distribuição em tamanho dos resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS).....	54
29	Distribuição em tamanho dos resíduos da pupunha moídos (bainhas externas e medianas).....	55
30	Composição química dos resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).....	56
31	Aspecto dos 7 tratamentos.....	66
32	Encosto de cadeira feito com painel 70% resíduos termoplásticos e 30% resíduos da pupunheira.....	66

RESUMO

Com o aumento populacional, consomem-se mais recursos naturais, aumenta-se a produção de bens de consumo e, por decorrência, a geração de resíduos sólidos. Diante de todo lixo gerado, os resíduos plásticos, como o Polipropileno – PP, o Polietileno de alta densidade - PEAD e o Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS merecem atenção, pois, mesmo quando destinados corretamente, nos aterros sanitários, causam problemas, formando uma camada impermeável que dificulta a compactação do lixo, afetando as trocas de líquidos e gases gerados, diminuindo a eficiência do processo de biodegradação da matéria orgânica. Portanto, são necessários estudos que viabilizem o aproveitamento desses resíduos. Com isso, temos a vantagem de diminuir a quantidade de resíduos gerados e desperdiçados nesses aterros, preservar os recursos naturais, diminuir os impactos ambientais, economizar energia, e, como objetivo principal, utilizá-los como matéria-prima para a produção de materiais. Uma maneira de utilizar esses resíduos é por meio de sua mistura com reforços lignocelulósicos, como resíduos agroindustriais – resíduos da palmeira pupunha (bainhas externas e medianas), formando um compósito, para produção de painéis. Como objetivos secundários, temos uma maior divulgação da plantação em lavoura da pupunha, substituindo a extração predatória e ilegal de palmito de palmeiras nativas; e também deixar evidenciado que a destinação final dos resíduos é custosa para empresas e prefeituras, sendo interessante para ambas a transformação dos resíduos em produtos, auferindo lucro. Foram avaliadas as propriedades dos painéis compósitos, testados em laboratório, utilizando as bainhas da

pupunheira e resíduos termoplásticos, em diferentes proporções, variando de 0 a 100% em volume. Avaliaram-se as propriedades físicas (densidade, teor de umidade, inchamento em espessura - 2 e 24 horas de imersão, absorção de água - 2 e 24 horas de imersão); propriedades mecânicas (tração perpendicular à superfície - colagem interna e flexão estática – MOE e MOR); os estudos preliminares (caracterização química dos resíduos da pupunheira e temperatura interna do painel com termopar); e o efeito da mistura das diferentes proporções destes resíduos nas propriedades finais dos painéis compósitos. Foram utilizadas as normas ASTM D1037; EN 317 e ANSI A208.1, referentes a chapas de partículas. Os resultados obtidos nos ensaios de teor de umidade, absorção de água 2 e 24 h, inchamento em espessura 2 e 24 h e tração perpendicular à superfície, revelaram que os tratamentos com resíduos plásticos em maior proporção apresentaram os melhores resultados. Já para os resultados dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE), não foi encontrado nenhum fator que ajudasse a entender se os resíduos da pupunha ou os resíduos termoplásticos tiveram alguma relação sobre os melhores ou piores resultados. Os tratamentos estudados tiveram bom desempenho físico-mecânico, considerando que nenhuma resina foi inserida. Alguns tratamentos não atingiram os valores mínimos recomendados pela referida norma. Uma sugestão para a continuidade deste trabalho é a adição de adesivos (resinas termofixas ou naturais) aos painéis, melhorando assim a adesão entre as partículas, garantindo uma maior estabilidade dimensional e, por conseqüência, melhorando as propriedades físico-mecânicas dos painéis, fazendo com que todos os tratamentos possam atingir os valores mínimos recomendados pela referida norma.

Palavras-chave: Compósitos, pupunha, termoplásticos, painéis, construção civil, indústria moveleira.

ALTERNATIVE PANELS FROM THERMOPLASTIC AND PEACH PALM (*Bactris gasipaes* Kunth) **WASTE.** Botucatu, 2012. 81p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: HUMBERTO FABRIZZI DE FIGUEIREDO PUPO

Adviser: ALCIDES LOPES LEÃO

SUMMARY

Given the increasing population, more natural resources are consumed and the production of consumption goods is increased. Consequently, is the generation of solid waste. Among all this, the plastic waste, such as Polypropylene - PP, High Density Polyethylene - HDPE and Acrylonitrile Butadiene Styrene - ABS deserve special attention, as, even when it is properly destined into landfills, they still cause problems, forming an impermeable layer posing difficulty for the waste compaction, affecting the liquids exchange and the generated gases, decreasing the efficiency of the organic matter biodegradation process. Therefore, studies that allow the recovery of such waste are required. This way, there is the advantage of reducing the amount of generated waste deposited into landfills, of keeping natural resources, of reducing environmental impacts, of saving energy, and, as a primary goal, their use as raw material for producing materials. By mixing this waste with lignocellulosic reinforcements, such as agro-industrial waste - waste of peach palm (sheaths), composites for panel production can be formed. The wider dissemination of peach palm crop planting, which replaces the predatory and illegal extraction of heart of palm from native palms and also the fact that the final disposal of waste is expensive for both companies and city halls are sub goals that mean the transformation of waste into products is interesting for earning profit. The properties of composite panels, tested in laboratory using sheaths of peach palm and plastic waste in different proportions, ranging from 0 to 100% in volume have been evaluated. The physical properties (density, moisture content, thickness swelling - 2 and 24 hours of immersion, water absorption - 2 and 24 hours of immersion), the mechanical properties (perpendicular traction to the surface - internal bonding and static bending - MOE and MOR), the preliminary studies (chemical characterization of peach palm waste and panel

internal temperature with thermopar) and the effect of mixing different proportions of this waste into the final properties of composite panels have also been evaluated. The standards ASTM D1037, EN 317 and ANSI A208.1 have been used, referring to sheets of particles. The results obtained from tests for moisture content, water absorption 2 and 24 hours, thickness swelling 2 and 24 hours and perpendicular traction to the surface, showed that treatments with plastic waste in greater proportion had the best results. As for the results on static bending tests (MOR and MOE), no factors that would help us understand whether the peach palm waste or the thermoplastic waste had any influence on the best or worst results were found. In general, the studied treatments showed good results, considering no types of resin have been inserted. However, some of these treatments haven't reached the recommended standard minimum values. A suggestion for the continuation of this work is the addition of adhesives (thermosetting or natural resins) to the panels, thus, improving the adhesion among particles, ensuring greater dimensional stability and, consequently, improving the physical-mechanical properties of the panels, allowing all treatments achieve the recommended minimum values.

Keywords: Composites, peach palm, thermoplastics, panels, civil construction, furniture industry.

1 INTRODUÇÃO

Para suprir a demanda crescente do mercado, novos produtos são confeccionados. Isso aumenta o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos urbanos, industriais e agroindustriais, aumentando, consequentemente, o impacto sobre o meio ambiente.

De todos os resíduos sólidos gerados, os plásticos são aqueles que mais chamam a atenção. São originados de fontes não renováveis (petróleo) e, quando não destinados corretamente, causam nas cidades a obstrução de córregos e redes de drenagens, favorecendo, a proliferação de mosquitos e outros vetores, que causam doenças e transtornos à população e colaborando na maior ocorrência de enchentes.

Notícias recentes mostram a gravidade e extensão desse problema. Dados do Greenpeace (2011) mostra que cientistas americanos encontraram uma quantidade imensa de lixo vagando no Oceano Pacífico. Estima-se que aproximadamente 90% desse lixo (10 milhões de toneladas) seja resíduos plásticos, sendo apelidados de "sopa de plástico". Um quinto destes resíduos é jogado de navios e plataformas e o restante vem da terra. Cerca de um milhão de pássaros e animais marinhos morrem por ano, seja por ingeri-los ou por ficarem presos a eles.

Mesmo quando destinados corretamente, como nos aterros sanitários, os resíduos plásticos formam uma camada impermeável que dificulta a compactação do lixo e

afeta as trocas de líquidos e gases gerados, diminuindo a eficiência do processo de biodegradação da matéria orgânica.

Os resíduos plásticos obtidos da reciclagem podem ser reaproveitados em outras aplicações como na confecção de diferentes materiais compósitos. Os compósitos são formados pela união de dois ou mais elementos, de naturezas diferentes (o matricial - matriz e o estrutural - reforço), para melhorar as propriedades dos componentes tomados separadamente. Originam produtos que podem ser utilizados na construção civil e nas indústrias moveleira, automobilística, esportiva, aeronáutica, entre outras.

Para tornar os materiais compósitos mais competitivos economicamente e com qualidade superior a outros materiais convencionais, tem-se buscado materiais alternativos de baixo custo, como as fibras naturais (juta, sisal, banana, abacaxi, coco, curauá, madeira, bambu, entre outras). Essas fibras naturais possuem a vantagem adicional de serem biodegradáveis e originadas de fontes renováveis. Diversos resíduos da agroindústria brasileira estão também sendo utilizados como reforço em matrizes termoplásticas nos materiais compósitos, como o pseudocaule da bananeira, a casca de arroz, a casca do coco, a casca de amendoim e o bagaço e palhiço da cana-de-açúcar.

No grupo dos resíduos da agroindústria, vislumbra-se o aproveitamento do resíduo da pupunheira. O interesse pela utilização desse resíduo em painéis compósitos surgiu da necessidade, de uma empresa privada de palmito pupunha, de encontrar utilidade para seus resíduos. O acúmulo de resíduo que a pupunheira gera, depois da extração do palmito, é de 80 a 90% do seu peso bruto, sendo que uma haste pesa em média 4 kg e gera aproximadamente 3,5 kg de resíduo. Esses resíduos ficam depositados no próprio local de colheita e grande parte desse material é fibroso, de degradação lenta, tornando-se um passivo ambiental.

De acordo com a Agrianual (2011), a produção de palmito em 2008 foi de 5.874 t. O palmito equivale a cerca de 10% da palmeira, sendo gerados em 2008 cerca de 53.000 t de resíduos (folhas e bainhas). As folhas são usadas para controlar o crescimento de plantas daninhas, na própria lavoura, e as bainhas não tinham utilidade até o início do presente trabalho, fazendo parte do tema deste estudo.

O objetivo principal deste trabalho foi a confecção de materiais compósitos em forma de painéis, utilizando como matéria-prima os resíduos plásticos

descartados de uma empresa de reciclagem (Polipropileno – PP; Polietileno de alta densidade – PEAD e Acrilonitrila Butadieno Estireno – ABS), reforçados com material lignocelulósico – resíduos da palmeira pupunha (bainhas externas e medianas) formando um compósito.

Estes compósitos foram prensados a quente a partir de material moído e poderão ser utilizados em substituição à madeira sólida, painéis compensados, painéis aglomerados e materiais metálicos, nas indústrias moveleiras (encostos e assentos de cadeiras, carteiras escolares, mesas de escritórios, estantes, prateleiras) e na construção civil (forros e divisórias).

Como objetivos secundários, temos uma maior divulgação da plantação em lavoura da pupunheira substituindo a extração predatória e ilegal de palmito de palmeiras nativas; e a evidência de que a destinação final dos resíduos sólidos é custosa para empresas e prefeituras, sendo interessante para ambas a transformação desses resíduos em produtos, auferindo lucro. E ainda, com isso, deixa-se de depositar resíduos em lugares indevidos ou mesmo em aterros sanitários, principalmente os resíduos plásticos que dificultam a compactação e decomposição desses materiais aterrados.

Na literatura não foi encontrado quaisquer trabalho que utilizasse resíduos termoplásticos misturados (PP + PEAD + ABS).

Com relação à pupunheira, seu estipe, na planta adulta, já foi tema de pesquisa, mas este presente trabalho utilizou os resíduos da planta ainda jovem (bainhas externas e medianas), sendo portanto inédito.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Reciclagem de resíduos sólidos

A ABNT-NBR 10004 (NBR, 2004) define resíduos sólidos como:

> Resíduos sólidos são aqueles nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos provocam poluição ambiental e potencializam a transmissão de doenças. O custo da construção de incineradores e de aterros sanitários muitas vezes os inviabilizam. Isso contribuiu muito para a procura de finalidades úteis para esses resíduos, como matéria-prima, diminuindo assim o volume a ser aterrado (RIBEIRO, 1998).

A reciclagem do lixo, além de reduzir custos no seu tratamento, gera materiais de múltipla utilização, como na confecção de paredes, forros e divisórias, em casas populares, ou painéis e revestimento interno, na indústria automotiva, similares aos normalmente utilizados (LEÃO, 1997).

Há carência de uma boa política de gerenciamento de resíduos no Brasil, e uma das metas a serem estabelecidas deve ser a reciclagem, que necessita, por sua complexidade, de eficazes empresas recicladoras e também de apoio da comunidade, e para isso deve ser conscientizada. E fica bem claro que as indústrias recicladoras necessitam de apoio governamental, nessa atividade importante e pioneira, com grandes vantagens econômicas e ambientais (CHAMMA, 2004).

2.2 Resíduos industriais - Polímeros termoplásticos

Resíduos industriais são aqueles provenientes de processos industriais. Possuem composição bastante diversificada e uma grande quantidade é considerada perigosa por serem tóxicos e poder causar poluição do ar, da água e do solo. Podem ser constituídos por escórias (impurezas resultantes da fundição do ferro), cinzas, lodos, óleos, plásticos, papel, borrachas, entre outros.

Os plásticos são polímeros que à temperatura ambiente apresentam-se em estado sólido, mas são passíveis de moldagem (ZANIN; MANCINI, 2004). Segundo Canto (1995), os polímeros podem ser divididos em dois grupos, de acordo com suas características. Os termofixos, que são plásticos que não podem ser remoldados apenas pela aplicação de calor, e os termoplásticos que, ao serem aquecidos, se tornam moles e podem assim ser remoldados em outros formatos, após serem resfriados, sem perder suas características originais. Isto lhes permite uma maior possibilidade de reutilização, sendo assim menos danosos ao meio ambiente.

Dotado de propriedades múltiplas, o plástico assumiu grande importância econômica na sociedade moderna, sendo globalmente aceito como imprescindível em nossa vida quotidiana. Mas seus problemas ambientais são também de ordem global, gerando múltiplos resíduos, consumindo matérias-primas e energia, infelizmente de fontes não-renováveis, avolumando-se nos chamados aterros sanitários (CHAMMA, 2004).

A indústria de embalagens é uma das mais ativas, modernamente, usando termoplásticos, como o polipropileno (PP) e o polietileno (PE), gerando volumoso resíduo pós-consumo, sendo assim disponíveis a baixo custo. Em sua reciclagem não há perdas sensíveis de suas propriedades físicas e um fator crucial é o fato de eles se derreterem a

temperaturas que não destroem as fibras naturais com que eles serão misturados, como a madeira e as fibras agrícolas (ENGLISH et al., 1996 apud LEÃO, 1997).

O uso do plástico generalizou-se nas mais variadas áreas industriais, como telecomunicações, construção civil, médico-hospitalar, lazer, eletro-eletrônica, automobilística transporte de energia e tantas mais. Conforme apresentado na Tabela 1, no Brasil, cerca de 30% das resinas plásticas consumidas destinam-se às indústrias de embalagens (GRIPPI, 2006).

Tabela 1. Utilização do plástico no Brasil.

Embalagens	30 %
Automobilística	20 %
Eletroeletrônica	15 %
Construção civil	15 %
Indústria têxtil	15 %
Outras	5 %

Fonte: GRIPPI (2006)

De acordo com CEMPRE (2010), em 2009 cerca de 2,5 milhões de toneladas de plásticos foram produzidos no Brasil. Sua reciclagem é espontânea, alcançando pouco mais de 21% dos plásticos produzidos, representando aproximadamente 556 mil toneladas por ano. Na Europa é de pouco mais de 18%, sendo que em alguns países a prática é impositiva e regulada por legislações complexas e custosas para a população local. As resinas mais usadas no Brasil são as de polietileno de alta densidade (PEAD), de polipropileno (PP) e de politereftalato de etileno (PET). Pode-se economizar até 50% de energia, com o uso de plástico reciclado.

Também de acordo com o CEMPRE (2010), 443 municípios brasileiros operam programas de coleta seletiva (cerca de 8% do total), como pode ser visto na Figura 1.

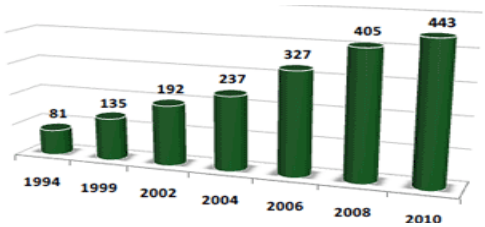

Figura 1- Municípios com coleta seletiva no Brasil
Fonte: CEMPRE (2010)

Cerca de 22 milhões de brasileiros têm acesso a programas municipais de coleta seletiva. Apesar do número de cidades com esse serviço ter aumentado, na maior parte delas a coleta não cobre mais que 10% da população local.

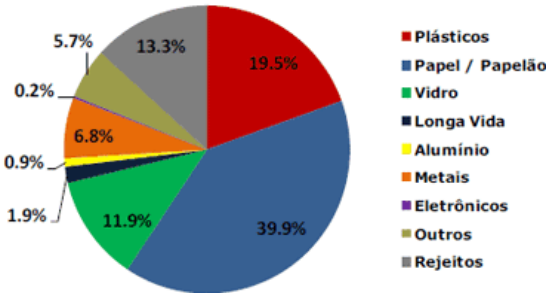

Figura 2 - Média da composição gravimétrica da coleta seletiva

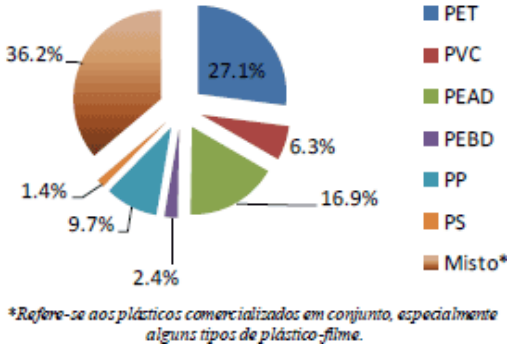

Figura 3 - Perfil dos plásticos

Fonte: CEMPRE (2010)

2.2.1 Polipropileno (PP)

As propriedades mais importantes do polipropileno (PP) dependem muito de suas variações técnicas durante o processamento e também, num grau acentuado, de sua cristalinidade, pois quanto maior for esta, mais elevadas serão sua rigidez, sua densidade e sua estabilidade dimensional, mas menor será sua resistência ao impacto. Uma propriedade que deve ser muito respeitada é a sua temperatura ou ponto de fusão, pois qualquer aumento acima disso pode ocasionar severas vibrações entre as cadeias químicas, com rompimento de ligações principais, do tipo C-C-CH3 ou C-C, resultando em dano estrutural, com perdas sensíveis de propriedades físicas pós-resfriamento (OLIVEIRA, 2009).

A cristalinidade também tem relação direta com a taxa de resfriamento, pois se as peças são resfriadas com rapidez, principalmente as menos espessas, há a formação de múltiplas regiões cristalinas, aleatoriamente distribuídas, ocasionando diminuição de algumas propriedades básicas, com especial dano na resistência ao impacto (CALLISTER, 1999 apud OLIVEIRA, 2009). Exemplos: embalagens de produtos alimentícios (água, vinagre, margarina, doces), filmes, tampas de frascos e grarrafas, copos d'água, embalagens de produtos de limpeza e higiene pessoal etc.

2.2.2 Polietileno de alta densidade (PEAD)

A mais importante aplicação do PEAD, termoplástico derivado do eteno, e já produzido desde sessenta anos atrás, está nas embalagens. É uma resina que, juntamente com o PP e o PE, alcançam um consumo superior a 500000 t/ano. Cerca de 30% do consumo global desse polietileno destina-se a produtos originados da chamada moldagem por sopro, principalmente frascos para limpeza e higiene. Em 1996 o Brasil já produzia aproximadamente 500 mil ton dessa resina, chegando a 750 mil t no ano de 2000 (ZANIN; MANCINI, 2004). Exemplos: embalagens de produtos alimentícios (achocolatados), de limpeza (detergente e álcool), e higiene pessoal (xampus), automotivos (lubrificantes e galões) etc.

2.2.3 Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS)

O terpolímero ABS apresenta em sua estrutura química um elastômero e dois componentes termoplásticos amorfos, mas variando diferentes composições químicas nessa estrutura básica, que mantem sua compatibilidade. Em todos os seus modelos químicos, sua matriz ou fase contínua é um copolímero de acrilonitrila e estireno (SAN), mais um elastômero com base no butadieno, formando sua fase dispersa. A poliacrilamida tem alta energia de coesão e parâmetros de solubilidade e, em aumentando-se sua concentração, ocorrerá sensível melhoria nas propriedades químicas e térmicas do ABS resultante (BARROS, 1998).

O ABS pode ser obtido através de polimerização, seja por emulsão ou em massa, ou por combinação desses dois processos. Sua matriz é composta principalmente por copolímeros de estireno-acrilonitrila (SAN). Pode-se produzir separadamente a borracha e a matriz SAN, o que é muito vantajoso, pois assim as propriedades de cada componente podem ser controladas de modo independente. Desse modo, a polimerização em massa inicia-se com uma base de borracha obtida separadamente, e o composto é obtido em diversos estágios, mas de modo contínuo. Limita-se o índice de borracha a 20%, em peso, tendo-se em vista uma boa viscosidade (BARROS, 1998). Exemplos: partes de mouse, impressoras,

telefones, calculadoras, aparelhos de televisão, aspiradores, aparelhos de ar condicionado, capacetes de segurança, brinquedos como peças de lego.

2.3 Resíduos Agroindustriais – Resíduos da pupunheira

Os resíduos agroindustriais são provenientes de processos produtivos da atividade agrícola, ou seja, são provenientes de matérias-primas produzidas no campo, resultantes das atividades de colheita dos produtos agrícolas. Exemplos: bagaço e palhiço da cana-de-açúcar, casca de arroz, sabugo de milho, bagaço de limão e laranja, casca de amendoim, palha de trigo, entre outros.

Neste trabalho os resíduos agroindustriais utilizados são provenientes da palmeira pupunha (Figura 4a), logo após a extração do palmito. A Figura 4b apresenta a pupunheira adulta, já com vários anos de idade.

A Figura 5 apresenta o diagrama esquemático de uma palmeira adulta.

a) Pupunheira jovem (com aproximadamente 20 meses – época de extração do palmito)
Fonte: Palmitos Rosolen (2010).

b) Pupunheira adulta
Fonte: Lorenzi et al. (2004).

Figura 4 – Pupunheiras jovem e adulta.

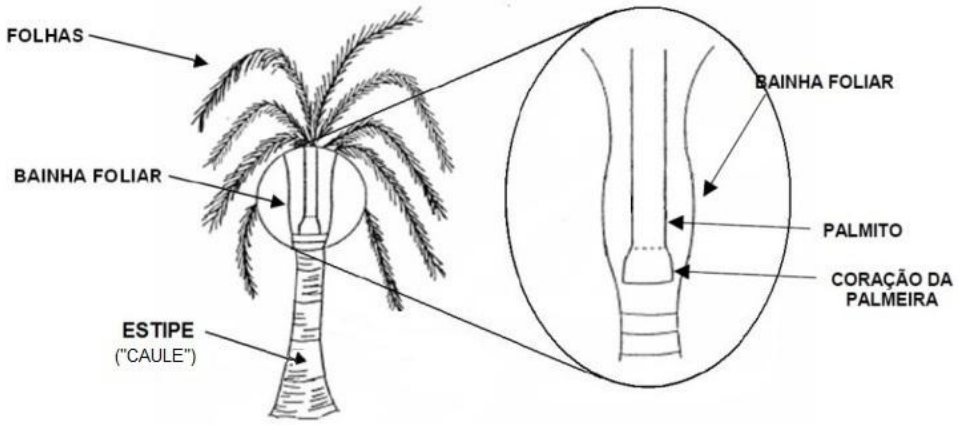

Figura 5 - Diagrama esquemático de uma palmeira adulta.
Fonte: Adaptado de Monteiro et al. (2002).

A pupunha ou pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth) é uma arecácea espinhosa, geralmente multicaule. Seu estipe ("caule" da pupunheira), pode atingir 15 m de comprimento e 18 cm de diâmetro e pode ser espinhoso ou sem espinhos, com folhas pinadas e arqueadas, com muitos espinhos ou apenas alguns nas margens foliares; pode apresentar até 16 grandes folhas. A pupunha não existe mais em estado nativo, pois formou-se como espécie cultivada há milhares de anos, nas regiões pré-andinas do Peru e Bolívia, e daí passando para a Amazônia brasileira. Sua espécie progenitiva selvagem é *Bactris dahlgreniana*. Tem preferência por solos drenados e ricos, areno-argilosos, não se desenvolvendo bem em solos muito úmidos (LORENZI et al., 2004). É de perfilhamento múltiplo, em ciclo perene. Uma planta forma touceiras de até cinco indivíduos, que frutificam simultaneamente (FONSECA et al., 2002).

2.3.1 Histórico e mercado

O primeiro plantio conhecido, com o objetivo de produzir palmitos, foi feito pela Bonaz, nos anos 1980, no Acre. Antes disso há notícias de extração de palmeiras nativas, no Pará (FERREIRA et al., 1982).

A extração predatória da Euterpe edulis e de outras espécies produtoras de palmito, e os resultados satisfatórios obtidos com a pupunha sem espinhos, nos anos 1980, incentivaram alguns empresários ao cultivo dessa palmeira, em larga escala, mas não

obtiveram sementes em quantidades suficientes para tal cultivo. O alto custo das sementes importadas adiou o cultivo para o fim da década de 1980 (BOVI, 1997).

A pupunha tem vasta distribuição nas Américas Central e do Sul, sendo mais utilizada no Caribe. É também de longo uso na Malásia, Costa Rica, Trinidad, Jamaica, Porto Rico e Cuba (FONSECA et al., 2002). No Brasil é cultivada em grande parte da Bacia Amazônica, Rondônia, Acre, Pará, Mato Grosso, Maranhão, Roraima e Amapá, tendo sido introduzida também na Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro e São Paulo, com bons resultados (FONSECA et al., 2002 e BACELLAR; D'ALMEIDA, 2008).

Originalmente o palmito *Euterpe edulis*, conhecido como Juçara ou Içara, era extraído de uma região da Mata Atlântica e somente a médio ou longo prazo havia um retorno a esta área para a extração (REIS et al., 1999 apud GIORDANO, 2007). Palmitos extraídos de palmeiras nativas, como o Açaí (*Euterpe oleraceae*) e a Juçara (*Euterpe edulis*), sofrem risco de extinção, por ser necessário o corte da palmeira ao extrair-se o palmito (LORENZI, 2002). Além disso, a extração do palmito nesses locais é feita sem a menor higiene, podendo trazer riscos à saúde do consumidor. Isto aumentou significativamente a pressão legal e dos movimentos ambientalistas, visando ao extrativismo sustentável (GIORDANO, 2007). Mas a pressão da produção industrial de palmito forçou a extração intensiva. A abundância de palmito na região, a forte demanda pelo produto e a facilidade inicial da exploração e processamento ofereceram suporte para a rápida proliferação de fábricas de palmito em conserva, com conseqüente intensificação da exploração, levando a espécie a uma fase de pré-extinção (REIS et al., 1999 apud GIORDANO, 2007).

Em razão da extração predatória do palmito de palmeiras nativas, como a juçara, o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) tem adotado severas regras restritivas (TAGLIARI, 1998 apud GIORDANO, 2007). Então a diminuição da produção de palmitos despertou o interesse dos produtores para outras arecáceas que produzissem bom palmito em curtos prazos, e dentre elas a pupunheira, em várias regiões brasileiras (MONTEIRO et al., 2002)

Segundo Palmitos Rosolen (2010), a pupunha tornou-se uma das espécies mais atraentes devido ao seu rápido crescimento (precocidade), levando de 18 a 24 meses para seu primeiro corte (extração do palmito). A primeira colheita geralmente é menos produtiva; corta-se apenas a planta mãe, e o palmito, em geral, é mais curto e de forma um

tanto cônica. De acordo com a Embrapa (2010), somente nos cortes subsequentes, que correspondem ao corte dos perfilhos, é que a cultura mostra todo seu potencial produtivo. O número de perfilhos a serem anualmente cortados, por touceira, varia em função do número de perfilhos que se deixam, do diâmetro do corte, do clima, solo, adubação e tratos culturais adotados.

A produção de palmito cultivado em lavoura está em grande expansão e vem substituindo a exploração extrativista de espécies nativas, como a Juçara e o Açaí (YUYAMA, 1997).

De acordo com a Agrianual (2011) a produção brasileira de palmito (extração) em 2008 foi de 5.874 toneladas. As exportações chegaram a 2.568 toneladas.

2.3.2 Palmito

O palmito forma-se no ápice do estipe, onde se originam as folhas. O estipe é formado por três camadas: a externa é fibrosa, não utilizada na industrialização, representando cerca de 30% de seu peso seco; a camada mediana, que envolve o palmito, é semi-fibrosa, representando de 25 a 30% do peso, também não aproveitada. No centro, o coração do palmito, ou miolo, com baixo teor de fibras, e que produz o palmito em conserva (LIMA; MARCONDES, 2002).

As Figuras 6 e 7 ilustram a sequência do corte da pupunheira para extração do palmito, a pré-limpeza do estipe no campo, com a retirada das bainhas e o palmito envolto com as bainhas medianas na indústria.

Figura 6 - Extração do palmito e pré-limpeza do estipe.
Fonte: EMBRAPA (2010).

Figura 7 - Palmitos envoltos com bainhas medianas que serviram como proteção durante o transporte até a indústria.
Fonte: Palmitos Rosolen (2010).

A pupunha pode produzir 300g de palmito por planta/ano, com grande precocidade no primeiro corte, que acontece a partir do décimo oitavo mês após o plantio, com grande vantagem sobre a juçara, que leva mais de sete anos para chegar ao tratamento de corte (BACELLAR; D'ALMEIDA, 2008).

2.3.3 Resíduos – Bainhas externas e medianas

De acordo com Palmitos Rosolen (2010), na indústria, após o recebimento e o descascamento da haste da pupunha, é gerado um resíduo de 80 a 90% do peso bruto (uma haste pesa em média 4 kg e gera aproximadamente 3,5 kg de resíduo).

Na lavoura é retirada apenas a parte que se destina ao envase do palmito. Dependendo da data de corte da lavoura, se houver atraso nesse corte, na parte mais dura, que fica na extremidade de baixo, o estipe será maior, gerando maior quantidade de resíduo (PALMITOS ROSOLEN, 2010).

Com o aumento da produção há o consequente aumento de resíduos, precisando-se então dar-lhe destino correto. Assim como o lixo urbano e o industrial, os resíduos agroindustriais, como os resíduos da pupunheira (estipe, bainhas externas, bainhas medianas e folhas) têm custo de manutenção alto e desnecessário (mão-de-obra, máquinas e

espaço físico). E, esse espaço físico perdido poderia estar sendo usado para novas plantações (PALMITOS ROSOLEN, 2010).

De acordo com produtores, no cultivo da pupunha parte desses resíduos são usados como adubo e também para controlar o crescimento de plantas daninhas, como a braquiária. A outra parte é deixada no pasto. A parte menos fibrosa do estipe jovem é usada como alimento pelo gado e o restante entra em processo de decomposição no solo.

Seben et al. (2011) afirmam que a prática usual para esses resíduos é o depósito no local de colheita, a fim de serem incorporados com matéria orgânica. Porém, como se trata de um material fibroso, sua degradação é lenta, tornando-se um passivo ambiental.

A Figura 8 apresenta os resíduos da pupunheira que foram utilizados no presente trabalho – bainhas foliares.

Figura 8 - Resíduos da pupunha.

A bainha é a parte basal e achatada da folha, que a prende ao estipe envolvendo-o parcialmente ou totalmente (FERRI et al., 1981).

2.4 Compósitos

Segundo Callister (2008), os compósitos são materiais criados a partir de dois ou mais componentes pré-existentes e distintos entre si, com a finalidade de alcançar-se uma melhor combinação de propriedades. A criação desses compósitos tornou-se necessária, pois muitas tecnologias modernas exigem materiais com propriedades incomuns, ausentes em materiais convencionais, como ligas metálicas ou cerâmicas.

O tijolo de adobe é um dos mais antigos compósitos que se conhecem, no qual aparece uma palha, como material fibroso, misturada com argila ou lama (adesivo com elevada resistência à compressão). A palha facilita a retirada da água da argila e permite que as trincas de contração, nessa secagem, distribuam-se uniformemente, o que aumenta significativamente a resistência desse material (CORREA, 2004).

O bambu é comumente citado como um compósito estrutural de madeira, combinando a grande resistência da fibra celulósica com a tenacidade e a dureza da matriz de lignina. O concreto armado também é um exemplo clássico de compósito no qual a vantagem da elevadíssima resistência à tração do aço é combinada à resistência à compressão do concreto (um compósito de brita e cimento), superando as desvantagens de cada constituinte isoladamente. O resultado é um material com propriedades únicas para aplicações estruturais na construção de edifícios, pontes e pavimentos (CORREA, 2004).

O uso de compósitos surgiu na área de produção aeronáutica, devido à necessidade de diminuição do peso dos materiais, mas com a necessária preservação da robustez e resistência dos componentes estruturais. Atualmente, substituindo o metal, aparecem variados materiais compósitos, no fabrico de portas internas, portas de trens de aterrissagem e fusilagem (PEREIRA, 2003).

A finalidade dos compósitos é a formação de novos produtos com o melhor aproveitamento possível das propriedades individuais de cada um dos componentes, de modo sinérgico. Nas indústrias de auto peças, por exemplo, há a fabricação de grande variedade de produtos, como protetores de carter, painéis e bancos, aliando leveza a bom desempenho, com baixo custo e maior facilidade de reciclagem no fim do ciclo de duração desses componentes (LIMA; MAGALHÃES, 2008).

Um compósito é formado sinergeticamente, apresentando propriedades melhoradas, em relação às propriedades de seus componentes individuais. Leão (1997), apresenta-nos o caso das fibras naturais, que têm um dos maiores modulus resistência/peso, o que faz delas um importante componente para a formação de compósitos, com a celulose atuando como reforço e a lignina como matriz.

As propriedades dos compósitos dependem muito do tipo da fibra, da matriz e das diferentes combinações entre fibra/matriz, além do processo de fabricação (SCHUH; GAYER, 1996 apud LIMA; MAGALHÃES, 2008). A distribuição das fibras, bem

como sua concentração e orientação, também têm importante influência na resitência e em outras mais propriedades dos compósitos reforçados com fibras. Há duas possibilidades de orientação: o alinhamento aleatório ou o alinhamento paralelo ao eixo longitudinal das fibras. Comumente, as fibras longas, contínuas, estão alinhadas paralelamente, e as curtas, descontínuas, podem estar alinhadas ou orientadas aleatoriamente (Figura 9). Quando a distribuição das fibras é uniforme, ocorre melhor combinação das propriedades dos compósitos (CALLISTER, 2008).

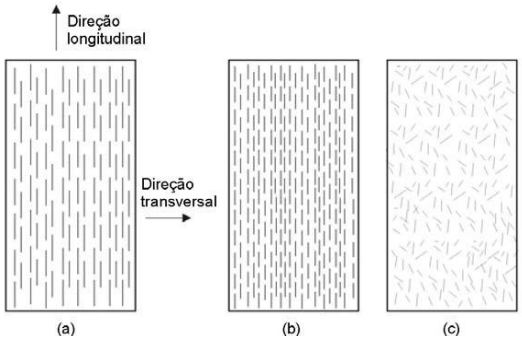

Figura 9 - Representação esquemática de compósitos reforçados com fibras: (a) contínuas e alinhadas; (b) descontínuas e alinhadas; (c) descontínuas aleatórias.
Fonte - Callister (2008).

A escolha entre um tipo de fibra e uma matriz depende principalmente da aplicação que dará ao compósito: resitência a corrosão, características mecânicas elevadas, resistência a alta temperatura, ou outras características fundamentais, mas muitas vezes o custo econômico pode ser um fator de relace nessa escolha. Deve ser observada a compatibilidade entre as fibras e as matrizes (PEREIRA, 2003).

Franco e Vega (1997 apud LEÃO, 1997) realçam que o baixo peso dos compósitos, além de suas propriedades mecânicas e resistência a condições adversas, deve ser considerado uma de suas principais vantagens. Bem por isso, têm vasta aplicação, seja ou não como componentes estruturais, e suas propriedades finais dependem basicamente da orientação e configuração das fibras. No caso dos compósitos de fibras curtas, essas propriedades são de mais difícil previsão, pois há problemas quanto à distribuição e orientação desigual dessas fibras, dentro da matriz, de difícil controle pelos métodos de processamento utilizados nas industriais, como compressão, extrusão ou injeção moldada com materiais termoplásticos. Outro principal requisito na produção de compósitos resistentes é o grau de adesão entre as fibras e a matriz.

De acordo com a Tabela 2 a Associação Brasileira de Materiais Compósitos (ABMACO, 2007) cita as vantagens dos compósitos.

Sendo muito mais leves que os materiais metálicos, os compósitos propiciam economia de combustível, com aumento ascentuado de carga útil, seja aeroespacial ou automotiva. A redução na massa total do produto pode ser de 30% ou mais, dependendo de sua aplicação (PEREIRA, 2003).

Tabela 2. Vantagens dos compósitos.

Vantagens dos compósitos	**Descrição**
Leveza e facilidade de transporte	Utilizados nos setores aeronáutico, naval, automobilístico e outros.
Resistência química	Permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes quimicamente agressivos.
Resistência às intempéries	Umidade, vento, sol, oscilações térmicas, têm baixa ação prejudicial sobre os compósitos e, quando características não usuais são requeridas, aditivos como protetores de UV, agentes anti-pó, resinas especiais são amplamente utilizados.
Flexibilidade arquitetônica	Moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização.
Durabilidade	Devido à sua composição e à reticulação polimérica formada durante o processo de moldagem, apresenta como característica uma alta durabilidade.
Fácil manutenção	Apresentam técnicas simples de reparo e manutenção.
Resistência mecânica	Apresentam excelente resistência mecânica que possibilita a sua aplicação em peças de grande porte.

Inicialmente na indústria automobilística, eram produzidos somente parachoques e tetos de automóveis de materiais compósitos. Atualmente, o material compósito é utilizado para a fabricação de capôs, carters de óleo, colunas de direção, árvores de transmissão, molas laminadas, painéis, etc (PEREIRA, 2003).

A Tabela 3 apresenta, segundo a ABMACO (2007), os segmentos de mercado que utilizam compósitos, como matéria-prima.

Tabela 3. Mercados que utilizam compósitos como matéria-prima.

Setores	**Utilidades**
Saneamento básico	Fabricação de tubos e estações de tratamento de água e efluentes.
Transporte (automotivo, ferroviário, marítimo e aéreo)	Automóveis: painéis, bancos, protetores de cárter, parachoques, tetos, capôs, revestimento interno de portas e porta malas. Aviões: fuselagem, spoilers, portas de trem de aterrissagem, portas internas.
Químico e Petroquímico	20% das plataformas de petróleo da Petrobrás já utilizam produtos fabricados a partir de compósitos, substituindo, por exemplo, as grades de piso em aço.
Construção Civil	O compósito já é amplamente utilizado por este segmento, principalmente na fabricação de caixas d'água, tanques, coberturas, perfis, mármore sintético, banheiras e telhas.
Eletroeletrônico	As concessionárias de telefonia e energia elétrica já estão utilizando amplamente o compósito em suas obras de manutenção e expansão em leitos para cabos, antenas, elementos de isolação e cabines telefônicas.
Lazer	Utilização de compósitos de fibra de vidro para fabricação de materiais para parques temáticos e piscinas.

Outro ponto importante relacionado aos materiais compósitos é o consumo de energia para sua produção que é muito menor quando comparado a materiais cerâmicos, como tijolo, e metálicos, como aço e alumínio (LIMA; MAGALHÃES, 2008).

Mano (2000) classifica os compósitos em matriciais e estruturais, comparando um sistema compósito ao corpo humano, onde há componentes matriciais, como gorduras e proteínas, e componentes estruturais, como músculos, dentes e ossos. O component matricial normalmente é um polímero orgânico, podendo ser duro ou macio, termofixo ou

termoplástico, e a função da matriz é manter o espaçamento e a orientação das fibras, transmitindo as forças de cisalhamento entre suas camadas, assegurando a resistência a torções e dobras, e também protegendo as fibras de prejuízos superficiais.

Há matrizes resinosas, como a epóxi e o poliéster, minerais, como o carbono; metálicas, como as ligas de alumínio; cerâmicas e, finalmente, poliméricas. Geralmente os polímeros têm baixas elasticidade e resistência; as cerâmicas são rígidas e quebradiças; os metais apresentam resistência e modulus resistência/peso intermediários, mas com boa ductibilidade (AMICO, 2006).

O componente estrutural deve ser rígido, resistente e maleável, e pode ser orgânico ou inorgânico, fibroso ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (flocos) ou fibras muito curtas, de dimensões quase moleculares. Sua função é suportar cargas e impedir grandes deformações (MANO, 2000).

O material de reforço, do mesmo modo que as barras de ferro numa viga de concreto, fornece resistência ao compósito, e pode ser de fibras contínuas, curtas, ou pós, esferas etc. A matriz envolve e firma o reforço, dando forma ao compósito. A partir do comprimento mínimo das fibras elas deixam de atuar como reforço e fazem o papel de enchimento ou carga (LEÃO, 1997).

2.4.1 Fibras naturais e artificiais

As fibras artificiais, como as poliamidas, poliéster, carbono, poliaramidas e fibras de vidro, são as concorrentes das fibras naturais. Pode-se incluir nesse grupo artificial também o concreto e o aço. O que valoriza economicamente uma fibra artificial é o seu desempenho. As fibras naturais têm baixa densidade, aproximadamente a metade daquela da fibra de vidro, e durante seu processamento não são abrasivas aos equipamentos; podem suportar temperaturas de até 200°C, o que lhes permite serem trabalhados com o polipropileno. Além disso, como filamento único, apresentam um modulus resistência/peso quase tão alto quanto ao da aramida. Assim, as fibras naturais apresentam baixo custo relativo, alta resistência à tração e alto módulo elástico. Quanto ao peso, levam vantagem sobre a fibra de vidro, de carbono ou de alumínio, e também sobre outras fibras orgânicas, como kevlar, poliéster e nylon. Seu processamento pode ser feito em máquinas

rotineiras, sem o exagerado desgaste provocado por fibras metálicas ou sintéticas (FRANCO e VEGA, 1997 apud LEÃO, 1997)

A adição de fibras naturais aos compósitos reduz significativamente o custo. E isso diminui o uso de componentes derivados de petróleo, altamente poluentes. Quanto ao ciclo de vida, as fibras naturais também são muito vantajosas, e isso será observado pela série de normas ISO 14000, que facilitarão a competitividade dessas fibras (LEÃO, 1995 e JOLY, et al., 1996 apud LEÃO, 1997).

É importante ressaltar que as fibras naturais apresentam um modulus resistência/peso maior do que o aço, isso é de particular importância para as indústrias que visam à redução de peso em seus produtos. Como exemplo, temos a indústria automobilística, que diminuindo o peso do automóvel, diminui também o gasto com combustível; Outro aspecto positivo das fibras naturais é a questão de ISO 14.000, em que o ciclo de vida será decisivo, inclusive para definir preços de produtos. E, sob esses aspectos, os compósitos reforçados com fibras naturais são muito melhores quanto ao consumo de energia, emissão de efluentes, toxicidade aos operários e aos consumidores, fácil disposição final, reciclabilidade repetitiva, etc. Esperamos que isso seja considerado na escolha de materiais para a confecção de um produto novo ou mesmo na melhoria dos já existentes (LEÃO, 1997).

As fibras naturais apresentam modulus resistência/peso maior que o do aço, o que é de particular importância para as indústrias que visam à redução de peso em seus produtos. A redução do peso de um automóvel, por exemplo, diminui consequentemente o gasto de combustível, e também quanto menor o peso da carga a ser transportada por automóveis e caminhões, menor será o consumo de combustível. O ciclo de vida dessas fibras, contemplado pela ISO 14000, também será decisivo, principalmente para baixar os preços dos produtos. Quanto ao consumo de energia, toxicidade aos operários e consumidores, emissão de efluentes, reciclabilidade repetitiva e fácil disposição final do produto, os compósitos reforçados com fibras naturais também são muito melhores (LEÃO, 1997).

As fibras naturais, quando incineradas ou quando sofrem a pirólise num acidente automotivo, não liberam gases muito tóxicos nem resíduos sólidos, pois são passiveis de sofrer combustão completa (JOLY et al., 1996 apud LEÃO, 1997).

A substituição de fibra de vidro por fibras naturais em matrizes poliméricas para a fabricação de compósitos vem sendo estudada, pois são fontes renováveis e então muito importantes para o desenvolvimento sustentável (SANTOS, 2007).

Mas se as fibras naturais têm tantas vantagens por que perderam espaço para as fibras sintéticas? A resposta está no modelo sócio-econômico impostas pelas economias de ponta, geralmente atuantes em países com poucos recursos naturais. O que pesa também são as variações de características dimensionais das fibras naturais, dependendo da insolação, do regime pluvial, do solo em que são cultivadas e da idade da colheita, levando estatisticamente a altos desvios-padrão quanto aos valores dessas características (BACELLAR; D'ALMEIDA, 2008).

Também vale a pena destacar que, para diversas aplicações, as fibras lignocelulósicas exigem um pós-tratamento para inibir a absorção de água; existe também a possibilidade de fibras e materiais de origem lignocelulósica serem degradadas pela ação de insetos e microorganismos. Há que considerar-se, também, que as fibras lignocelulósicas necessitam de pós-tratamento para inibir-se a absorção de água, e que podem ser prejudicadas pela ação de insetos e microorganismos (BACELLAR; D'ALMEIDA, 2008).

2.4.1.1 Compósito: Fibra artificial + Polímeros

A fibra de vidro ou fiberglass é usada largamente na indústria por ter grande resistência à umidade, à corrosão e à alta temperatura, mantendo eficiente seu desempenho mecânico (SANTOS, 2007).

Essa fibra é rígida, com resistência e química e às intempéries. Apresenta grande facilidade no processamento, permitindo a modelagem de peças bem complexas, de variadas dimensões, como tubos de esgoto, piscinas, frentes e traseiras de veículos, telhas corrugadas, carrocerias de automóveis, silos etc. (MANO; MENDES, 1999). Mas tem o inconveniente de ser muito poluente e seus resíduos são de difícil reaproveitamento. Além disso, apresenta alta toxicidade no seu trato industrial, podendo causar câncer pulmonar, entre outros danos respiratórios.

Deve-se notar ainda que essa fibra é de manuseio complexo, além de difícil reciclabilidade, exigindo operações adicionais de tratamento, o que aumenta a poluição

ambiental. Vários estudos estão sendo feitos para melhorar sua reciclagem. Sánchez et al. (2004) usam o processo da pirólise em compósitos de poliéster insaturado e fibra de vidro, separando a fibra e recuperando o polímero em estado líquido e gasoso.

Baan e Grosse (2004) mostram que a fibra de vidro pode liberar partículas transportáveis pelo vento, então inaladas pelos manipuladores e causando danos respiratórios. E Yam (1996) atesta que tais partículas podem atuar como agentes cancerígenos. Herterberg et al. (1999), trabalhando com hamsters, mostram que todos os animais expostos às partículas dessa fibra apresentam inflamações pulmonares, com elevada perda de células nesses órgãos.

Os compósitos com fibra de vidro utilizam fibras contínuas ou descontínuas em uma matriz polimérica, sendo o vidro considerado um dos mais utilizados compósitos, por várias razões (CALLISTER, 2008):

- É um material amplamente disponível e pode ser fabricado economicamente para formar um plástico reforçado com vidro, empregando-se uma variedade de técnicas de fabricação de materiais compósitos;
- Como uma fibra, ele é relativamente forte e, quando se encontra no interior de uma matriz polimérica, produz um compósito que possui resistência específica muito alta;

Os vinil-ésteres e os poliésteres são as resinas mais usadas para formar compósitos reforçados com fibra de vidro, pois as epóxi são de custo mais elevado, muito usadas em aplicações especiais, como as aeroespaciais, dadas sua melhor resistência à umidade e suas superiores propriedades mecânicas. As resinas termoplásticas e as poliamidas são mais utilizadas para aplicações a altas temperaturas (CALLISTER, 2008).

2.4.1.2 Compósito: Fibra natural + Polímero

A utilização de termoplásticos com reforços de fibras naturais já vem da década de 1970, nos produtos fabricados com polipropileno, sendo este reforçado com lignocelulósicos.

Esse compósito foi usado no interior de automóveis, nas placas então conhecidas como Woodstock. Esses compósitos são extrudado e laminado em chapas, usado para revestimento interno de porta-malas e portas de veículos (CORREA et al., 2003 e RODOLFO Jr.; JOHN, 2006).

Essa adição de fibras de reforço em matrizes termoplásticas aumenta consideravelmente a resistência mecânica do polímero termoplástico. Quanto à micro-mecânica dos compósitos aplica-se o que convencionou-se chamar de Regra de Mistura, que considera as propriedades do compósito como proporcionais à fração volumétrica e às propriedades dos componentes (CALLISTER, 2008).

Os compósitos obtidos com reforços lignocelulósicos e polímeros apresentam vantagens em relação ao plástico puro, pois suas fibras reforçam o material, dando-lhe maior resistência a forças externas, evitando sua deformação e perda de função, além de poder ser usado como substituto de outros materiais (CANTO, 1995). Esses compósitos à base de reforços lignocelulósicos e polímeros têm substituído a madeira in natura. Em 2002, nos EUA, foram utilizadas aproximadamente 400 mil toneladas de polímeros com reforço lignocelulósicos (JIANG; KAMDEM, 2004).

Correa et al. (2003) comenta que a maior parte do mercado de compósitos termoplásticoscom reforços lignocelulósicos está na construção civil, principalmente com materiais em polipropilenos, polietilenos e PVC extrudados com resíduo de madeira, em batentes de portas e janelas, revestimentos, perfis para assoalhos etc. Jiang e Kandem (2004) e Jiang et al. (2003) mostram que nos EUA houve, nos últimos anos, um crescimento anual de aproximadamente 60% no mercado para termoplásticos, com aplicação em materiais parar construção. Isso pode ser observado pelo aumento no número de patentes depositadas no país, relacionadas a essa atividade econômica, e também pela maior demanda dessas matérias-primas utilizadas como carga em termoplásticos.

Mitchel e Varnell, apud Chamma (2004), apontaram que a produção de compósitos utilizáveis na construção civil, misturando poliéster com casca de arroz resulta em material leve, durável e bom isolante térmico.

Modernamente são cada vez mais numerosas as pesquisas sobre compósitos com fibras vegetais, especialmente aquelas referentes à substituição de fibras sintéticas. Joseph et al. (1999), Sanchez et al. (2004), Mothé e Araújo (2004), e Salazar et al.

(2005) destacam essa substituição, pois as fibras sintéticas, como a fibra de vidro, ou de carbono ou boro, ou nylon e kevlar, ou amianto, apresentam, umas mais, outras menos, custo elevado, alta densidade, são potencialmente poluidoras, não são biodegradáveis, são abrasivas, além de apresentarem alto custo de reciclagem. As fibras vegetais apresentam características opostas, altamente positivas: baixo custo e densidade, não são abrasivas, menos tóxicas, são biodegradáveis, podem ser incineradas e facilmente modificadas quimicamente, além de serem fonte de recursos naturais renováveis.

As fibras de sisal, usadas no reforço de matrizes poliméricas, apresentam alta resistência ao impacto e moderada resistência à flexão e tração. O curauá, também produz fibra de alta resistência. Mothé e Araújo (2004) apontam que essa fibra, quando misturada a polímeros, origina produtos de menor densidade, com diminuição do custo da matéria-prima, além de provir de fonte renovável.

Outro polímero que pode ser combinado vantajosamente com fibras naturais é o poliéster. Leão (1995) combinou-o com fibras de madeira e resina fenólica, para produção de chapas não estruturais. Schneider et al. (1994 apud LEÃO, 1997) usaram juta combinada com poliéster, em mistura com polipropileno, como substituição ao pó de serra, concluindo que praticamente toda fibra de origem vegetal pode participar dessa substituição.

Carvalho (2004), citado por Pereira e Beraldo (2007), conta-nos que partículas de bambu, na proporção de 2% do compósito, são eficientes como reforço polimérico de poliestireno (PS), com resistência à tração aumentada em 30%, com relação à matriz não reforçada. Compósitos com 6% de partículas de bambu apresentaram resistência à compressão superior a 19%, quando comparados com a matriz sem reforço.

Rodolfo Jr. e John (2006) afirmam que, no mundo, nos últimos anos, a utilização de madeira como reforço em polímeros tem-se desenvolvido acentuadamente. A Europa e os EUA já têm legislação que limita a queima indiscriminada de derivados celulósicos, normalmente madeira ou seus derivados, como o papel, o que incentiva o reaproveitamento de seus resíduos. Um dos problemas desses países de ponta é a escassez de madeira, o que os leva a incentivar a fabricação e uso de compósitos termoplásticos com madeira (wood plastic composites – WPC), seja para perfis para construção civil ou como componentes automobilísticos, graças a seus baixo custo, sua versatilidade e beleza, quando comparados com a madeira in natura.

Na Europa e nos EUA, a farinha de madeira (wood waste flour – WWF), como carga e reforço em termoplásticos, tem demonstrado maior resistência à umidade e às pragas e insetos, além de poder ser usada em perfis de vários formatos, com melhor estabilidade dimensional. Formam compósitos resistentes a trincas e empenamentos, com maior resistência em piscinas e marinas, dispensam proteção artificial, como vernizes e tintas, além de apresentarem menor custo de manutenção rotineira e de serem totalmente recicláveis. Imitam, em aspecto, a madeira (STARK; SCHENEIDER, 1996 e ECKERT, 2000).

Muitas vezes não é do conhecimento do consumidor o uso de fibras naturais em matrizes plásticas. Espera-se que a demanda cresça ainda mais com uma maior divulgação das vantagens desse material.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matérias-primas

Foram utilizados neste trabalho resíduos sólidos de origem industrial e agroindustrial para confecção de painéis compósitos, visando sua utilização na construção civil e indústria moveleira.

3.1.1 Resíduos industriais – Polímeros termoplásticos

Os resíduos industriais utilizados para a produção da matriz foram os polímeros termoplásticos (Figura 10): Polipropileno - PP, Polietileno de Alta Densidade – PEAD e Acrilonitrila Butadieno Estireno – ABS, advindos da fabricação de carrocerias de ônibus, da empresa Caio, fornecidos pela empresa recicladora Plastitech Ltda, ambas situadas no município de Botucatu-SP.

Figura 10 - Resíduos termoplásticos no pátio da recicladora.

A fim de calcular a porcentagem aproximada de cada resíduo termoplástico, foi adotado o seguinte procedimento: os resíduos foram separados por cor e tipo, classificando-os em PP, PEAD ou ABS. Três amostras, com 20g cada, foram recolhidas do mesmo material utilizado para a prensagem. Posteriormente foi feita a separação manual dos grânulos dos resíduos termoplásticos, sendo pesados e classificados, obtendo as porcentagens apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Porcentagem de cada resíduo termoplástico na mistura.

Resíduos termoplásticos	**Amostra 1 (%)**	**Amostra 2 (%)**	**Amostra 3 (%)**
PP	30,27	29,49	32,47
PEAD	57,45	53,48	54,12
ABS	12,28	16,73	13,41

Nos polímeros termoplásticos (PP, PEAD e ABS) foi feita a análise do índice de fluidez (MFI) segundo a norma ASTM D-1238, com o equipamento Plastômetro Capilar JJH, para determinar a medida do índice de fluidez nos materiais termoplásticos. Para o PP utilizou-se temperatura de 230°C, um peso de 2,16 kg e tempo de corte de 60 segundos; para o PEAD, temperatura de 310°C, um peso de 12,5 kg e tempo de corte de 8 segundos; para o ABS, temperatura de 230°C, um peso de 3,8 kg e tempo de corte de 60 segundos; para PP + PEAD + ABS, utilizou-se uma temperatura de 230°C, um peso de 2,16 kg e tempo de corte de 9 segundos. Para eliminar bolhas de ar no orifício, foi utilizado um pistão que compactou o material. Pesou-se a massa que flui através do orifício de um capilar em 10 minutos (g/10min), mantendo constantes, pressão e temperatura. Para cada material testado foram utilizados 10 corpos de prova.

3.1.2 Resíduos agroindustriais – Resíduos da pupunheira

O estipe da pupunheira jovem (Figura 11a - com aproximadamente 20 meses de idade) é formado por três camadas (bainhas): externa, mediana e miolo do palmito. A camada externa é fibrosa, representando cerca de 25 a 35% de seu peso; é de cor esverdeada ou marron (Figura 11b) e não é utilizada na industrialização do palmito, sendo

descartada. A camada mediana, semifibrosa, representa cerca de 25 a 30% de seu peso; é de cor clara (Figura 11c) e é usada para proteger o palmito no transporte até a industrialização, sendo descartada no início do beneficiamento. Já a terceira camada, o miolo, que contêm baixo teor de fibras, é a parte que produz o palmito em conserva. (LIMA; MARCONDES, 2005). Esses resíduos (bainhas externas e medianas) são advindos do processamento desta palmeira, de onde se extrai o palmito, e foram fornecidos pela empresa Palmitos Rosolen Indústria e Comércio Ltda, situada no município de Cajobi-SP.

a) Estipe da pupunheira jovem (pronto para extração do palmito)

b) Bainha - camada externa (Teor de umidade = 81,12%)

c) Bainha – camada mediana (Teor de umidade = 80,41%)

Figura 11 – Estipe e resíduos da pupunheira úmidos.

Neste trabalho, para a produção do reforço do compósito foram utilizadas as bainhas externas e medianas do estipe.

3.2 Produção das partículas, secagem e classificação

Para obter as partículas das matérias-primas para produção dos painéis, utilizou-se um moinho granulador horizontal Seibt, modelo 6/230. Tanto os resíduos da pupunheira (bainhas externas e medianas – Figura 12) como os resíduos termoplásticos (PP, PEAD e ABS – Figura 13) foram moídos. Antes de moer os resíduos da pupunheira foi necessário secá-los em estufa para que o material secasse o suficiente para não grudar nas facas do moinho.

Depois da pré-moagem os resíduos foram armazenados em sacos plásticos até o momento da prensagem. Com isso a umidade do ambiente aumenta o teor de umidade do material, sendo necessário colocá-los novamente na estufa até obterem umidade entre 8 e 12% para a prensagem.

Figura 12 - Resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).

Figura 13 - Resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS).

3.3 Caracterização das partículas dos resíduos

3.3.1 Densidade aparente

A caracterização das partículas dos resíduos foi feita pela determinação da densidade aparente e umidade das partículas, realizada segundo a norma SCAN-CM 46 (1996), utilizada para resíduos sólidos agroindustriais. Foi calculada a partir da seguinte equação:

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

onde:
d: densidade aparente (g/cm³);
m: massa de material seco (g);
v: volume de material seco (cm³).

3.3.2 Umidade

Para verificação do teor de umidade das partículas do resíduo agroindustrial, utilizou-se o medidor de umidade Denver Instrument IR-200, onde as amostras são aquecidas utilizando calor por infravermelhos para libertar umidade. Uma balança de precisão eletrônica integrada pesa a amostra antes e depois do aquecimento e calcula a umidade do material.

3.3.3 Granulometria

A distribuição em tamanho das partículas foi determinada utilizando-se as partículas das fibras da pupunha (bainhas externas e medianas) e os resíduos termoplásticos (PP, PEAD e ABS).

Uma amostra de 100 gramas de cada resíduo foi peneirada em peneira vibratória comercial (Figura 14), seguindo a norma ABNT-NBR 7217 – Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR, 1987), com malhas de 3,35 mm, 2 mm, 1 mm, 0,85 mm, 0,5 mm, 0,425 mm, 0,250 mm, 0,212 mm, 0,125 mm e 0,105 mm.

Figura 14 - Peneira vibratória.

Figura 15 - Misturador.

Da distribuição em tamanho das partículas foram obtidos o módulo de finura e a dimensão máxima das partículas. O módulo de finura é dado pela equação:

$$MF = \frac{\sum PRA}{100} \quad (2)$$

onde:
MF: módulo de finura
PRA: porcentagem retida acumulada (%).

A dimensão máxima, por definição, é dada pela abertura da peneira que apresenta o maior valor de porcentagem retida acumulada não superior a 5%.

3.3.4 Caracterização química dos Resíduos da Pupunha (RP)

A porcentagem dos diferentes constituintes dos materiais lignocelulósicos afetam a qualidade e uso do produto final. Entre os principais constituintes estão a celulose, as hemiceluloses, a lignina e os extrativos (compostos orgânicos e inorgânicos).

Para análise da composição química dos resíduos da pupunheira (bainhas externas e medianas) o material analisado encontrava-se nas mesmas condições do material que foi prensado (Figuras 12 e 28), ou seja, com 91% de massa seca. Portanto, durante a prensagem do painel, o teor de umidade dos resíduos da pupunheira estava em 9%.

Para este ensaio foi utilizado como referência o livro: Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos - coleta, acondicionamento e preparo de amostras (NOGUEIRA; SOUZA, 2005).

3.4 Confecção dos painéis

O desempenho dos compósitos foi avaliado com a confecção de painéis, desenvolvida no Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos (RESIDUALL), no Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Câmpus de Botucatu-SP.

Os painéis foram confeccionados combinando-se a matriz (partículas dos resíduos industriais) e o reforço (partículas dos resíduos agroinduistriais), em diferentes proporções. Dessas combinações resultaram 7 tratamentos, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Composição dos 7 tratamentos.

Tratamentos	Cód.	Matriz (elemento matricial) %	Carga de reforço (elemento estrutural) %
	1 a 7	Resíduos Termoplásticos (RT) PP+PEAD+ABS	Resíduos da Pupunha (RP) Bainhas externas e internas
RT100	1	100	0
RT70RP30	2	70	30
RT60RP40	3	60	40
RT50RP50	4	50	50
RT40RP60	5	40	60
RT30RP70	6	30	70
RP100	7	0	100

Para cada tratamento foram feitas 3 repetições.

3.4.1 Testes piloto

3.4.1.1 Teste da temperatura interna do painel com termopar

O teste para verificar a temperatura interna do painel foi necessário para comprovar se a temperatura de 200ºC estipulada na prensa atinge tanto a camada superfícial do painel como a camada interna, durante os 10 minutos de prensagem.

Este procedimento foi feito utilizando-se Termopares - Tipo J (Ferro / Constantan), ligados a um Datalogger – 21X Micrologger, marca Campbell Scientific Inc (Figuras 16-a e 16-b).

a) Colchão com termopar na camada interior.

b) Datalogger e termopar no momento da prensagem do painel.

Figura 16 – Termopar inserido na camada interna do colchão e datalogger com termopar medindo a temperatura no momento da prensagem do painel registrando as temperaturas na operação de prensagem.

Foram feitas três repetições, onde foi constatado que houve transferência de calor das camadas superficiais para a camada interna do painel, atingindo a mesma temperatura dos pratos da prensa de 200ºC no decorrer dos 10 minutos de prensagem, como demonstrado na Tabela 6 e Figura 17.

Tabela 6. Temperaturas dos pratos da prensa e da camada interna do painel.

Descrição	**Rep 1 (ºC)**	**Rep 2 (ºC)**	**Rep 3 (ºC)**
Temperaturas dos pratos da prensa no fechamento (prato de baixo e de cima, respectivamente)	198 e 200	200 e 199	197 e 196
Temperaturas dos pratos da prensa na abertura (prato de baixo e de cima, respectivamente)	202 e 206	205 e 204	205 e 206
Temperatura inicial da camada interna do painel (prato de baixo e de cima, respectivamente)	20,04 e 19,32	20,98 e 20,05	21,96 e 20,84

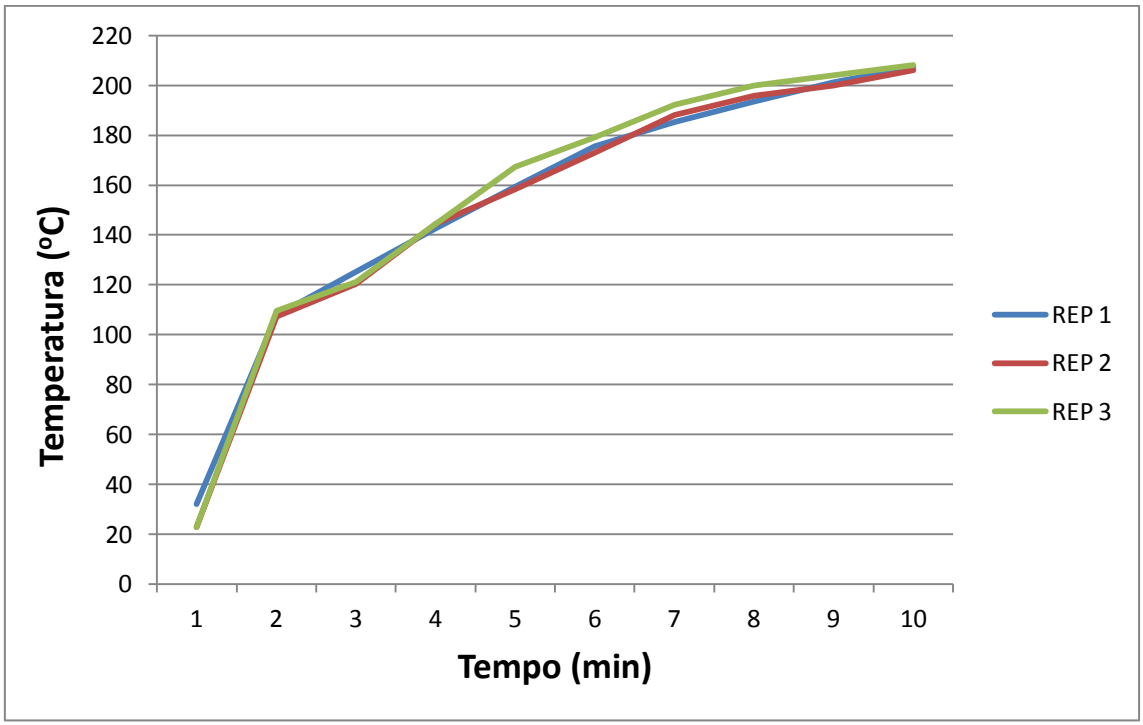

Figura 17 – Variação da temperatura na camada interna do painel x tempo de prensagem.

3.4.1.2 Temperatura de prensagem

Através desse ensaio testaram-se diferentes temperaturas de prensagem

(150ºC, 175ºC e 200ºC). Esse teste foi realizado apenas em painéis que continham elemento matricial (termoplásticos), com o objeitvo de avaliar a eficiência na fusão dos plásticos, já que cada um deles tem uma temperatura teórica de fusão (PEAD=130ºC; PP=165ºC e ABS=175ºC). Verificou-se que com 150 e 175ºC não houve efetiva fusão. Sendo assim, a temperatura de prensagem adotada foi de 200°C, que mostrou ser suficiente para a fusão dos termoplásticos sem causar a degradação dos mesmos e das fibras dos resíduos da pupunheira.

3.4.1.3 Tempo de prensagem

Constatou-se que, para se ter uma fusão completa dos termoplásticos com as partículas da pupunha, o tempo ideal de prensagem é de 10 minutos. Em tempo inferior não houve fusão completa dos termoplásticos.

3.4.1.4 Pressão de prensagem

A pressão de prensagem ($P_{prensagem}$) dos painéis foi de 32 kgf/cm² (3,10 MPa) obtida com uso da expressão:

$$P_{prensagem} = \frac{P_{man} \times A_{pistão}}{A_{painel}} \quad (3)$$

onde:

$P_{prensagem}$ = Pressão atingida pela prensa (kgf/cm²) → 32 kgf/cm²

P_{man} = Pressão do manômetro (kgf/cm²) → 100 kgf/cm²

$A_{pistão}$ = Área do pistão da prensa (cm²) → 392 cm²

A_{painel} = Área a ser colada (cm²) → 35 x 35 x 1 cm

3.4.2 Variáveis finais do processo

A densidade nominal almejada para os painéis foi de 0,70 g/cm³, o que os enquadraria pela norma ANSI A208.1 - American National Standards Institute (ANSI,

1999), como painéis de média densidade. As dimensões do painel foram definidas em 35 cm x 35 cm x 1 cm de comprimento, largura e espessura, respectivamente.

Todos os painéis foram formados em uma forma de madeira com um tamanho de 35 cm x 35 cm x 25 cm, comprimento, largura e altura, respectivamente.

O cálculo da massa da chapa seguiu as equações 4, 5 e 6:

$$MST = DT \times V \quad (4)$$

onde:
MST = massa seca total (g) → 1010,80g
DT = densidade teórica do painel (g/cm³) → 0,70g/cm³
V = volume do painel: lado 1 x lado 2 x espessura (cm³) → 38 x 38 x 1 cm

O cálculo da massa total de partículas dos resíduos da pupunha (elemento estrutural) utilizado no painel está relacionado com a porcentagem de partículas da pupunha (%PP) e massa seca total (MST), teor de umidade das partículas da pupunha (TUP) e perda de material (PM). Essa perda significa o valor aproximado da perda de material durante a formação e prensagem do painel. Esse cálculo seguiu a equação 5:

$$MTP = TUP \times PM \times (\%PP \times MST) \quad (5)$$

onde:
MTP = massa total de partículas da pupunha (g): valor calculado de acordo com a porcentagem de partículas da pupunha (%PP) e massa seca total (MST). Ex: se o total de massa seca (MST) for 1000g e a porcentagem de partículas da pupunha (%PP) for de 60%, a massa total de partículas da pupunha (MTP) será de 600 g → vai depender da porcentagem de partículas da pupunha (0, 30, 40, 50, 60, 70 ou 100).
TUP = teor de umidade (%) → 9%
PM = perda de material (%) → 5%
%PP = porcentagem de partículas da pupunha (%) → 0, 30, 40, 50, 60, 70 ou 100
MST = massa seca total (g) → 1010,80g

Obs.: As partículas da pupunha se referem aos resíduos da pupunheira moídos, ou seja, bainhas externas e medianas moídas.

O cálculo da massa total de termoplásticos (MTT) utilizados no painel está relacionado com a porcentagem de termoplásticos (%T) e a massa seca total (MST), teor de umidade dos termoplásticos (TUT) e perda de material (PM). Essa perda significa o valor

aproximado da perda de material durante a formação e prensagem do painel. Esse cálculo seguiu a equação 6:

$$MTT = TUT \times PM \times (\%T \times MST) \quad (6)$$

onde:
MTT = massa total de termoplásticos (g): valor calculado de acordo com a porcentagem de termoplásticos (%T) e massa seca total (MST). Ex: se o total de massa seca (MST) for 1000g e a porcentagem de termoplásticos (%T) for de 40%, a massa total de termoplásticos (MTT) será de 400 g → vai depender da porcentagem de termoplásticos (0, 30, 40, 50, 60, 70 ou 100)
TUT = teor de umidade (%) → 8%
PM = perda de material (%) → 2%
%T = porcentagem de termoplásticos (%) → 0, 30, 40, 50, 60, 70 ou 100
MST = massa seca total (g) → 1010,80g

3.4.3 Mistura das partículas

Para mistura das matérias-primas, foi desenvolvido um misturador rotativo (Figura 15), com diâmetro de 75 cm e 120 cm de largura, que gira a uma velocidade constante. Em cada mistura foi realizada uma batelada para três painéis, que correspondiam às três repetições. Entre os tratamentos foi feita a limpeza do misturador, para que não ocorresse interferência de um tratamento no outro.

Após sair do misturador, o material foi pesado em balança digital com precisão de 0,01g, com o objetivo de se comparar a massa teórica e a real da mistura. Tendo a massa real, o material foi dividido em três partes iguais.

Retirou-se uma amostra das partículas para verificação do teor de umidade, utilizando-se o medidor de umidade marca Denver Instrument, modelo IR-200.

3.4.4 Formação do colchão e termoformagem por compressão

A formação do painel consiste na termoformagem por compressão, onde inicialmente foi feita a montagem do colchão. Os materiais foram distribuídos aleatoriamente dentro da caixa formadora (sem fundo), confeccionada em madeira, com as seguintes dimensões: 35 cm de comprimento x 35 cm de largura x 25 cm altura, compatíveis com os pratos da prensa. Essa caixa foi apoiada sobre uma chapa de alumínio e, sobre ela, foi

colocada uma folha de acetato, para impedir a aderência dos resíduos nos pratos, durante a prensagem (Figura 18).

Figura 18 - Caixa formadora do painel.

A conformação inicial do colchão foi feita por meio de pressão manual, exercida sobre a tampa na caixa de madeira sobre o colchão, seguida pela retirada da caixa (sem fundo).

Após a retirada da tampa de madeira, outra folha de acetato foi colocada na face superior do colchão pré-moldado (Figura 19), seguido pela colocação de outra chapa de alumínio, estando assim o colchão pronto para ser encaminhado à prensagem.

Figura 19 - Colchão pré-moldado.

Essa prensagem é feita em uma prensa hidráulica de laboratório OMECO (Figura 20), com fechamento simples, aquecimento elétrico, ajuste independente da temperatura dos dois pratos (dimensões: 60 x 60 cm), controle analógico da pressão aplicada. Deve-se salientar que as variáveis do processo de operação foram: tempo de prensagem, pressão e temperatura. O ciclo de prensagem foi de 10 minutos, a uma temperatura de 200°C e com uma pressão de 32 kgf/cm².

Figura 20 - Prensa Hidráulica.

Na prensa, juntamente com o colchão pré-moldado, foram colocados dois espaçadores metálicos de 1 cm de espessura, com a função de limitar a espessura do painel no momento final da prensagem. Ao término da prensagem, a abertura da prensa foi realizada automaticamente.

Após ser retirado da prensa, o painel foi submetido a um carregamento, por meio de uma chapa de ferro de 20 kgf e com dimensões de 40 x 40 x 2 cm, durante 15 minutos. A razão para esse carregamento é evitar o efeito “spring back” ou seja, a volta do colchão às condições iniciais antes da prensagem.

Após o resfriamento em temperatura ambiente, o painel foi preparado nas dimensões definitivas (35 x 35 x 1 cm), para estudos físicos e mecânicos (Figura 21). Os corpos de prova foram condicionados em uma sala com ar condicionado e com desumidificador mecânico, até peso constante, sendo posteriormente destinados aos ensaios previstos.

Figura 21 - Painel pronto para ser mapeado.

A metodologia usada no desenvolvimento do estudo pode ser resumida e observada no fluxograma da Figura 22, onde são descritas cada uma de suas etapas:

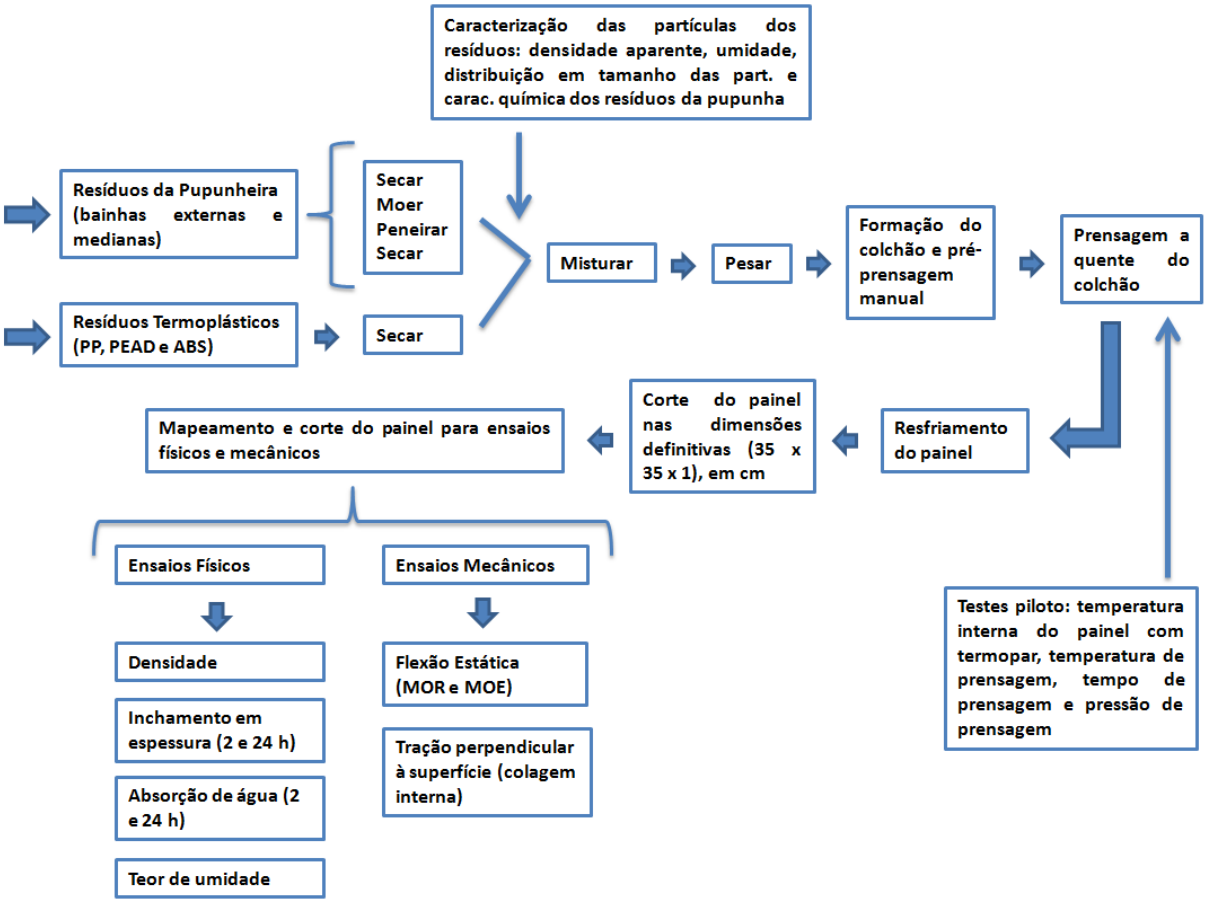

Figura 22 - Fluxograma das etapas do trabalho.

3.5 Ensaios físicos e mecânicos em corpos de prova dos painéis

Para análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, empregaram-se como referência as normas ASTM D1037 - American Society for Testing and Materials Standard (ASTM, 2006a) e a EN 317 (EN, 1993), utilizadas para chapas de partículas. Seus usos se justificam pela semelhança do produto desenvolvido nesta pesquisa com uma chapa de partículas. Também foi utilizada a norma ANSI A208-1 (ANSI, 1999), que especifica as propriedades de desempenho requeridas para as chapas de partículas.

Os ensaios físicos foram realizados no Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos (RESIDUALL), do Departamento de Recursos Naturais – Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, Campus Botucatu-SP. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento

de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP e no Laboratório de Processo da Eucatex, ambos localizados na cidade de Botucatu-SP.

As propriedades analisadas foram: densidade, inchamento em espessura 2 e 24 h, absorção de umidade 2 e 24 h, teor de umidade, flexão estática e tração perpendicular à superfície do painel (colagem interna). Os corpos de prova, necessários para os ensaios, foram extraídos obedecendo ao desenho da Figura 23. Essa figura ilustra as dimensões (em centímetros), localização e identificação dos corpos de prova.

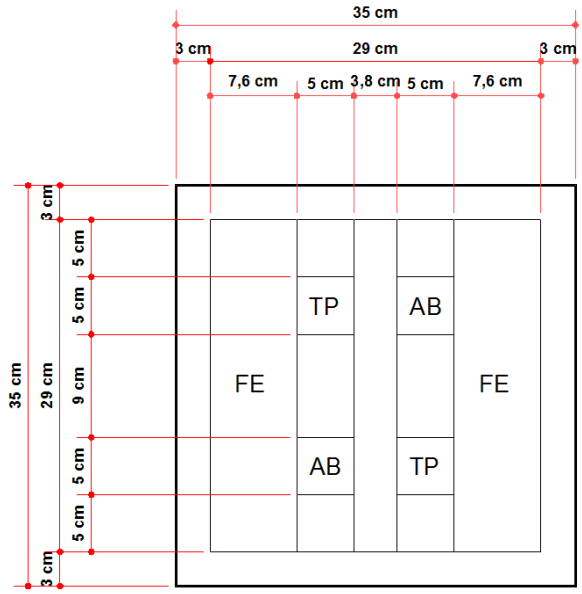

Figura 23 – Plano de corte dos corpos de provas (TP - Tração Perpendicular à Superfície – colagem interna, AB – Absorção de Umidade, FE - Flexão Estática).

3.5.1 Ensaios Físicos

Para cada tratamento foram retirados seis corpos de prova (AB), indicados na Figura 23, com dimensões (comprimento, largura e espessura) de 5,00 cm x 5,00 cm x 1,00 cm, de acordo com a norma EN 317 (EN, 1993). Esses corpos de prova (Figura 24) foram submetidos aos ensaios físicos (densidade, inchamento em espessura, absorção de água, teor de umidade).

Para medição do comprimento e da largura foi utilizado um paquímetro digital STARRETT, 727 ME-6”/150 mm, com sensibilidade de 0,01 mm. Para a

medição da espessura foi utilizado um micrômetro digital MICROMASTER 85161302-0-30 mm/0-1,2 in, com sensibilidade de 0,001 mm.

Figura 24 - Corpos de prova dos ensaios físicos.

3.5.1.1 Inchamento em espessura e Absorção de água após 2 horas de imersão

Para o ensaio de inchamento em espessura, os corpos de prova foram saturados em água destilada a 20ºC, por 2 horas. Após esse período, os corpos de prova foram retirados da água e mantidos na posição vertical, para secagem superficial, e na sequência foram pesados e medidos (em quatro pontos diferentes do corpo de prova). O inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, foi calculado segundo a equação:

$$I_{2h} = \left[\frac{e_2 - e_1}{e_1}\right] * 100 \quad (7)$$

onde:
I_{2h}: inchamento dos corpos de prova após 2 horas de imersão (%);
e_1: espessura inicial dos corpos de prova acondicionados, antes da imersão (mm);
e_2: espessura dos corpos de prova após 2 horas de imersão (mm).

Para o ensaio de absorção de água foi determinada a massa dos corpos de prova, antes e após as 2 horas de imersão em água, expressa pela seguinte equação:

$$A_{2h} = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right] * 100 \quad (8)$$

onde:
A_{2h}: absorção após 2 horas de imersão (%);
m_1 : massa inicial dos corpos de prova (g);
m_2: massa dos corpos de prova após 2 horas de imersão (g).

3.5.1.2 Inchamento em espessura e Absorção após 24 horas de Imersão

Para a determinação do inchamento em espessura e da absorção de água após 24 horas de imersão, os corpos de prova foram retirados da água, ao final desse período, e mantidos na posição vertical, para secagem superficial e, na sequência, foram pesados e medidos. O inchamento em espessura, após 24 horas de submersão, foi calculado pela seguinte equação:

$$I_{24h} = \left[\frac{e_2 - e_1}{e_1}\right] * 100 \quad (9)$$

onde:
I_{24h}: inchamento dos corpos de prova, após 24 horas de imersão (%);
e_1: espessura inicial dos corpos de prova acondicionados, antes da imersão (mm);
e_2: espessura dos corpos de prova, após 24 horas de imersão (mm).

Para o ensaio de absorção de água após 24 horas de imersão, utilizou-se a seguinte equação:

$$A_{24h} = \left[\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right] * 100 \quad (10)$$

onde:
A_{24h}: absorção após 24 horas de imersão (%);
m_1: massa inicial dos corpos de prova (g);
m_2: massa dos corpos de prova, após 24 horas de imersão (g).

3.5.1.3 Teor de umidade

Os corpos de prova foram secos em estufa, com circulação de ar à temperatura de 105 ± 1ºC, até atingir massa seca constante. O teor de umidade foi determinado pela equação:

$$U = \left[\frac{m_u - m_s}{m_s} \right] * 100 \quad (11)$$

onde:
U: umidade dos corpos de prova (%);
m_u: massa úmida (g);
m_s: massa seca (g).

3.5.2 Ensaios Mecânicos

Para cada tratamento foram retirados seis corpos de prova, para o ensaio de flexão estática (FE), e seis corpos de prova, para o ensaio de tração perpendicular à superfície (TP), indicados no mapeamento da Figura 23 e nas Figuras 25(a) e 25(b).

a) Corpos de prova para ensaio de flexão estática (MOR e MOE).

b) Corpos de prova para ensaio de tração perpendicular à superfície.

Figuras 25 - Corpos de prova dos ensaios mecânicos.

3.5.2.1 Flexão Estática

O ensaio de flexão foi realizado de acordo com a norma ASTM D1037 (ASTM, 2006a). Com base na referida norma, os corpos de prova foram confeccionados com 1,0 cm de espessura, 7,6 cm de largura e 29,0 cm de comprimento (Figura 25-a).

Os ensaios de flexão foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios Servo-hidráulica, marca EMIC, modelo DL-10000 MF (Figura 26), com capacidade de 100 kN e velocidade de deslocamento da travessa da máquina de 6 mm/min, pertencente ao

Laboratório de Ensaio de Materiais do Departamento de Engenharia Rural – FCA/UNESP, Botucatu-SP.

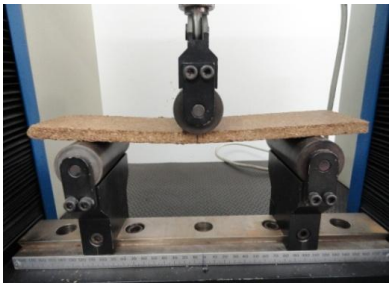

Figura 26 - Ensaio de flexão estática.

A partir do ensaio de flexão estática, foram obtidos os valores de MOE (módulo de elasticidade) e MOR (módulo de ruptura), que são dados pelas equações abaixo:

$$MOE = \frac{P * l^3}{48 * f * I} \tag{12}$$

onde:
P: carga (MPa);
l: distância entre apoios (mm);
f: deformação (mm);
I: momento de inércia (para seções retangulares $I=b.h^3/12$).
onde b é a largura e h é a espessura do corpos de prova.

$$MOR = \frac{1{,}5 * P * l}{b * h^2} \tag{13}$$

onde:
P: força de ruptura (N);
l: distância entre apoios (mm);
b: largura do corpo de prova (mm);
h: espessura do corpo de prova (mm).

3.5.2.2 Tração Perpendicular à Superfície (colagem interna)

O ensaio de tração perpendicular à superfície do painel é também conhecido como colagem interna e analisará a ligação interna das partículas que compõem a mistura, estando relacionada diretamente à densidade da chapa, ao tempo e à temperatura

utilizada na fase de prensagem, bem como à quantidade de material ligante (resinas e lignina) utilizada na mistura.

Para o ensaio de tração perpendicular à superfície, tomou-se por referência a norma ASTM D1037 (ASTM, 2006a). Pela norma, o corpo de prova quadrado deve ter 5,00 cm de lado (Figura 25-b). Os corpos de prova foram fixados em suportes de madeira e colados com adesivo. Foi realizado na Máquina Universal de Ensaios Servo-controlada EMIC DL-10.000 MF, com uma velocidade de deslocamento da travessa da máquina de 0,84 mm/min, conforme ilustra a Figura 27, pertencente ao Laboratório de Processos da Eucatex.

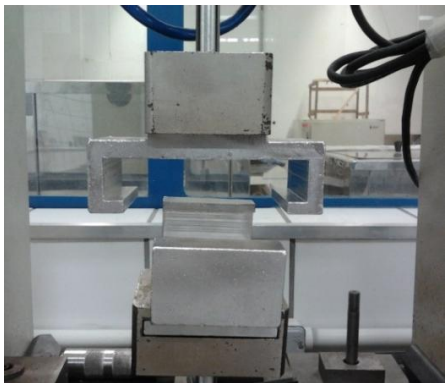

Figura 27 - Ensaio de tração perpendicular à superfície.

3.6 Delineamento estatístico e análises

O delineamento experimental foi feito de duas formas. Para as variáveis da densidade, teor de umidade, módulo de ruptura, módulo de elasticidade e tração perpendicular à superfície, foi utilizado Delineamento Inteiramente Casualizado. Para as variáveis de inchamento 2 e 24 h e absorção 2 e 24 h, foi utilizado delineamento em fatorial (7 x 2, sendo 7 tratamentos e 2 tempos de análise).

Na avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foi desenvolvida a análise de variância ANOVA, complementada pelo teste Tukey, para comparação das médias. Os dados foram analisados estatisticamente utilizando o programa estatístico SAS versão 9.0® para comparação das médias.

Para os resultados que apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos ($P<0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

probabilidade. Todas as variáveis atenderam às pressuposições (normalidade dos resíduos por Cramer-von Mises) e homocedasticidade das variâncias por Bartlett. Com excessão das variáveis de MOE e MOR. Para que as pressuposições do programa estatístico fossem aceitas foi necessária a transformação dos dados, seguindo as seguintes fórmulas, respectivamente: LOG 10 (valor de MOE) e 1/valor de MOR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na discussão dos resultados foram utilizados códigos para facilitar a interpretação dos tratamentos efetuados. As letras RT representam o resíduo utilizado como matriz. As letras RP representam o resíduo utilizado como reforço. Os números determinam a porcentagem de matriz e reforço utilizados (0, 30, 40, 50, 60, 70 ou 100).

Para facilitar a interpretação dos resultados, desenvolveu-se a seguinte codificação:

RT = resíduos termoplásticos (PP, PEAD e ABS).
RP = resíduos da pupunheira (bainhas externas e medianas).

A Tabela 7 apresenta a composição dos 7 tratamentos.

Tabela 7. Composição dos 7 tratamentos.

Tratamentos	**Cód.**	**Composição**
RT100	1	100% de resíduos termoplásticos
RT70RP30	2	70% de resíduos termoplásticos e 30% de resíduos da pupunha
RT60RP40	3	60% de resíduos termoplásticos e 40% de resíduos da pupunha
RT50RP50	4	50% de resíduos termoplásticos e 50% de resíduos da pupunha
RT40RP60	5	40% de resíduos termoplásticos e 60% de resíduos da pupunha
RT30RP70	6	30% de resíduos termoplásticos e 70% de resíduos da pupunha
RP100	7	100% de resíduos da pupunha

Assim, por exemplo, o tratamento RT30RP70 refere-se a um painel produzido com 30% (em peso) de resíduos termoplásticos e 70% (em peso) de resíduos da pupunheira.

4.1 Caracterização das partículas

4.1.1 Densidade aparente e teor de umidade das partículas

As propriedades iniciais das partículas empregadas na confecção dos painéis são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8. Resultados dos estudos das partículas: Densidade e umidade das partículas.

Propriedades avaliadas	**RT**	**RP**
Densidade aparente (g/cm^3)	0,35	0,28
Teor de umidade (%)	8,38	9,20

4.1.2 Distribuição granulométrica das partículas

Nos resultados obtidos para as partículas do RT (Tabela 9) verificou-se que a dimensão máxima das partículas dos resíduos termoplásticos - PP, PEAD e ABS (Figura 28), de acordo com a NBR 7217/87, é de 3,35 mm (peneira n° 6) e apresenta um módulo de finura de 8,47.

Tabela 9. Distribuição em tamanho das partículas dos resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS).

Peneira		**Porcentagem**		
n^o	**µm**	**Retida**	**Retida acumulada**	**Que passa na peneira**
06	3350	4,72	4,72	95,28
10	2000	15,35	20,07	79,93
18	1000	42,19	62,26	37,74
20	850	11,12	73,38	26,62
35	500	20,10	93,48	6,52
40	425	3,36	96,84	3,16
60	250	1,32	98,16	1,84
70	212	1,04	99,02	0,98
120	125	0,49	99,69	0,31
140	105	0,10	99,79	0,21
Fundo	--------	0,21	100,00	--------

Nos resultados obtidos para as partículas de RP (Tabela 10) verificou-se que a dimensão máxima das partículas dos resíduos da pupunheira – bainhas externas e medianas (Figura 29), de acordo com a NBR 7217/87, é de 2,00 mm (peneira n° 10) e apresenta um módulo de finura de 6,38.

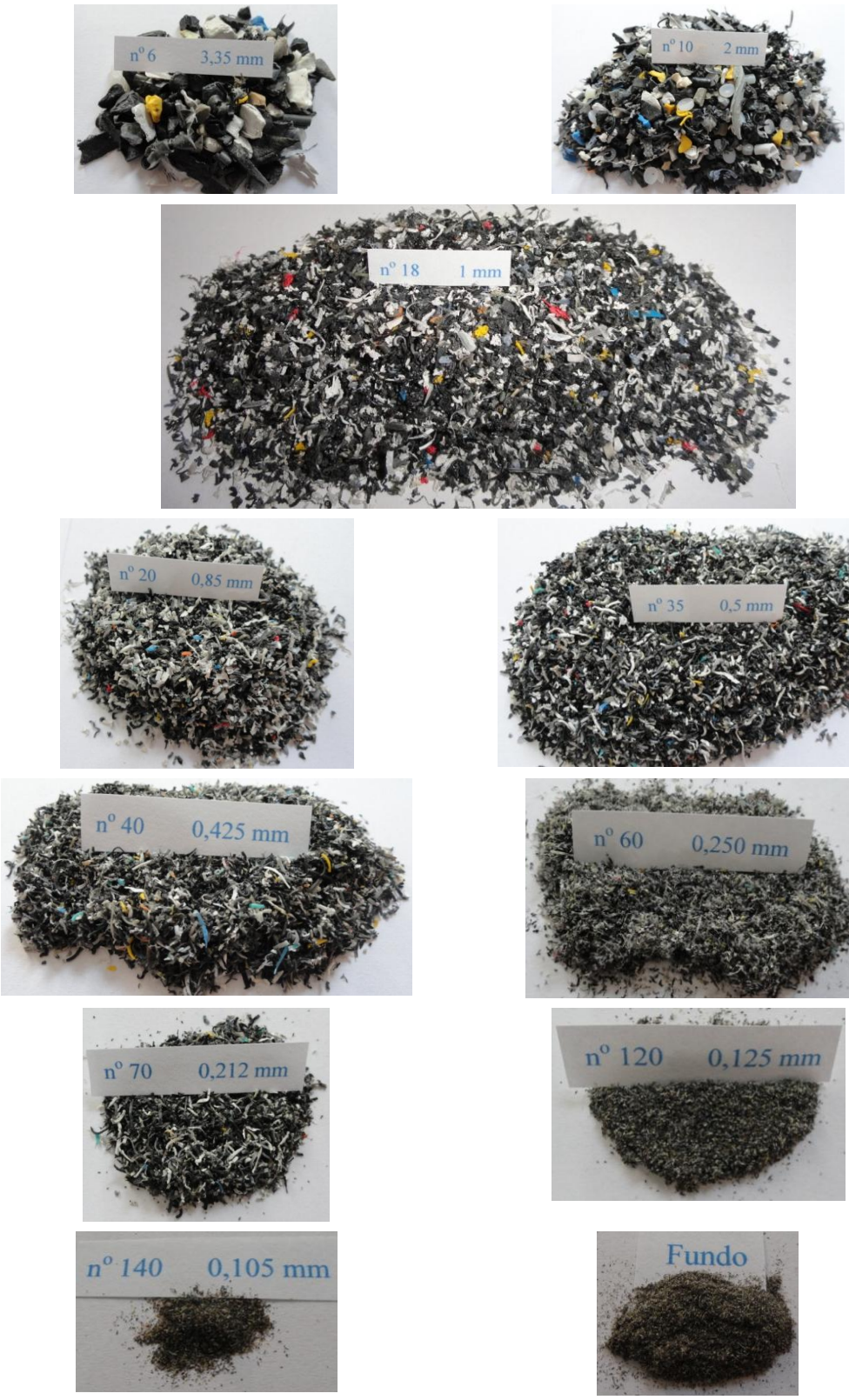

Figura 28 - Distribuição em tamanho dos resíduos termoplásticos moídos (PP, PEAD e ABS)

Figura 29 - Distribuição em tamanho dos resíduos da pupunha moídos (bainhas externas e medianas).

Tabela 10. Resultados médios da distribuição em tamanho das partículas dos resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).

Peneira		Porcentagem		
nº	**µm**	**Retida**	**Retida acumulada**	**Que passa na peneira**
nº 06	3350	0,20	0,20	99,80
nº 10	2000	3,00	3,20	96,80
nº 18	1000	19,49	22,69	77,31
nº 20	850	9,70	32,39	67,61
nº 35	500	22,28	54,67	45,33
nº 40	425	12,59	67,26	32,74
nº 60	250	14,69	81,95	18,05
nº 70	212	4,32	86,27	13,73
nº 120	125	6,86	93,13	6,87
nº 140	105	2,97	96,1	3,90
Fundo	--------	3,90	100,00	--------

4.1.3 Caracterização química das partículas dos resíduos da pupunheira (bainhas externas e medianas)

Apresentam em sua composição química* 30% de celulose, 23,15% de hemicelulose, 6,35% de lignina e 40,5% de outras substâncias, como mostrado na Figura 30.

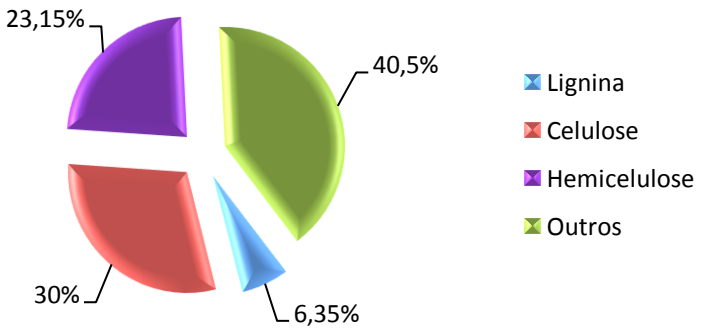

Figura 30 - Composição química dos resíduos da pupunheira moídos (bainhas externas e medianas).

De acordo com Youngquist (1999) a farinha de madeira, a partir de sua moagem, na maioria das vezes do tipo pinus, possui em sua composição química de 44 a 50% de celulose, 20 a 25% de hemicelulose, 16 a 33% de lignina e de 5 a 10% de extrativos.

O fato de os resíduos da pupunheira estarem com os valores de celulose, hemicelulose e lignina abaixo dos encontrados na madeira pode estar relacionado com o tipo de tronco e com a idade de corte. Os resíduos da pupunheira foram cortados com idades entre 18 e 24 meses; isso implica em um estipe (“caule” da pupunheira) não totalmente desenvolvido, não maduro, como mostrado nas Figuras 5a (pupunheira jovem) e 5b (pupunheira adulta) do item 2.3 e na Figura 11a do item 3.1.2.

A lignina nos materiais lignocelulósicos fortalece e enrijece a parede celular da fibra, mantém as células unidas e ainda protege os tecidos vegetais da degradação química e/ou biológica (MARABEZI, 2009 e CANILHA et al., 2010). Nos compósitos uma maior porcentagem de lignina pode ajudar no enrijecimento, fortalecimento e união das partículas do elemento estrutural (resíduos da pupunha), fazendo com que melhorem as propriedades físicas e mecânicas finais dos painéis.

4.2 Índice de fluidez

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos a partir dos testes de índice de fluidez, realizados com o objetivo de verificar a processabilidade dos materiais. Verificou-se que no termoplástico PP (Polipropileno) ocorre uma maior dificuldade de escoamento e, consequentemente, uma menor fluidez, se comparado aos três termoplásticos misturados (PP + PEAD + ABS), ao PEAD (Polietileno de Alta Densidade) e ao ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), ou seja, nos termoplásticos PEAD e ABS que tiveram o maior índice de fluidez (8,1 g/10 minutos) a viscosidade será menor.

Tabela 11. Valores de índice de fluidez obtidos para os polímeros termoplásticos.

Polímeros termoplásticos	Índice de fluidez (g/10min)	Desvio Padrão
PP	1,0	0,006
PEAD	8,1	0,0134
ABS	8,1	0,2612
PP + PEAD + ABS	4,2	0,0046

4.3 Propriedades físicas dos painéis

As Tabelas 12 a 14 apresentam os resultados das propriedades físicas dos painéis confeccionados. Na Tabela 12 estão listados os valores médios de teor de umidade

e de densidade dos painéis para cada tratamento.

Tabela 12. Valores médios de teor de umidade e de densidade.

Tratamentos	Cod.	Teor de umidade (%)	Densidade (g/cm³)
RT100	1	0,31 (5,52%) **G**	0,82 (2,44%) **AB**
RT70RP30	2	2,94 (3,56%) **F**	0,84 (2,38%) **A**
RT60RP40	3	3,55 (1,41%) **E**	0,86 (3,25%) **A**
RT50RP50	4	4,23 (2,23%) **D**	0,85 (2,70%) **A**
RT40RP60	5	4,84 (5,05%) **C**	0,81 (3,70%) **AB**
RT30RP70	6	6,15 (2,66%) **B**	0,75 (6,00%) **B**
RP100	7	8,10 (1,73%) **A**	0,85 (4,70%) **A**

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, ao nível de 5% de significância. Entre parênteses se encontram os valores do coeficiente de variância (C.V.).

Os teores de umidade dos corpos de prova indicam valores médios entre 0,31 a 8,10%. O tratamento que continha apenas resíduos termoplásticos (Tratamento 1) foi considerado o melhor tratamento, pois foi o que apresentou o menor teor de umidade. Observa-se que, quando aumenta a porcentagem de resíduos termoplásticos, diminui o valor de teor de umidade. Isso ocorreu porque o plástico é um material impermeável, ou seja, não absorve umidade. O tratamento 7 foi considerado o pior tratamento, pois apresentou o maior valor de teor de umidade. Isso ocorreu porque esse tratamento contém 100% de fibra natural, material que absorve umidade. Os melhores resultados foram os que continham a maior porcentagem de plástico. Todos os tratamentos apresentaram diferença significativa entre si.

Pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), apenas o tratamento 6 (Tabela 12) foi classificado como painel de média densidade (0,75 g/cm³), destinado ao uso comercial e industrial (Tabela 16). Esse tratamento apresentou diferença significativa dos tratamentos 7, 4, 3 e 2. Os demais tratamentos foram classificados como painel de alta densidade (0,81 a 0,86 g/cm³), destinados ao uso industrial (Tabela 16). Embora estejam com os valores enquadrados na norma, os painéis apresentaram valores superiores ao valor desejado, de 0,70 g/cm³. Isto aconteceu porque foi calculado o valor de perda de material (mistura dos resíduos termoplásticos e resíduos da pupunha) no momento da prensagem, e esta perda foi menor do que o calculado, fazendo com que o painel ficasse mais denso do que o esperado.

Os painéis apresentaram valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão de 0,43 a 68,20% e de 1,01 a 70,12%, respectivamente (Tabela 13).

Tabela 13. Valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão.

Tratamentos	Cod.	Inchamento 2h (%)	Inchamento 24h (%)
RT100	1	0,43 (58,14%) **Fa**	1,01 (26,73%) **Fb**
RT70RP30	2	2,62 (14,50%) **Ea**	3,65 (9,86%) **Ea**
RT60RP40	3	3,43 (3,24%) **Ea**	4,91 (13,56%) **Eb**
RT50RP50	4	7,48 (15,77%) **Da**	8,47 (18,65%) **Da**
RT40RP60	5	9,98 (15,23%) **Ca**	11,01 (14,99%) **Ca**
RT30RP70	6	15,78 (1,71%) **Ba**	17,54 (0,63%) **Ba**
RP100	7	68,20 (4,93%) **Aa**	70,12 (11,42%) **Aa**

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra maiúscula não apresentam diferença estatística, ao nível de 5% de significância. Nas linhas, os valores seguidos da mesma letra minúscula não apresentam diferença estatística, ao nível de 5% de significância. Entre parênteses se encontra os valores do coeficiente de variância (C.V.).

Quando os painéis são expostos à umidade sofrem alterações importantes, como o inchamento em espessura e absorção de água. Estas propriedades podem limitar o uso de um painel, já que, quanto maior o inchamento, maior a variação de sua espessura (CHAMMA, 2004). Estes ensaios são realizados sistematicamente pelas indústrias, para controle de qualidade de seus produtos.

De acordo com a Tabela 13, os menores resultados, considerados os melhores para inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água, foram os dos tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5. Os tratamentos 3 e 2 não apresentaram diferença significativa entre si, mas apresentaram diferença significativa entre os demais tratamentos.

O tratamento 7 apresentou a maior porcentagem de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, ou seja, 68,20 e 70,12%, respectivamente. O comportamento deste tratamento já era esperado, pois contêm 100% de resíduos de pupunha moída (fibra natural), material que absorve umidade.

Quando foram usados resíduos da pupunha em maior proporção na mistura, houve um aumento no inchamento em espessura. Constatou-se também que, com o aumento da porcentagem de resíduos termoplásticos, houve diminuição do inchamento no compósito em 2 e 24 horas de imersão em água, conforme demonstrado na Tabela 13.

Boeglin et al. (1997) obtiveram valores de 1 a 10% de inchamento em compósitos com 75% de partículas de madeira. Isso pode ser explicado pela maior proporção de partículas de madeira na mistura, o que resulta em uma maior quantidade de sítios disponíveis para a penetração de água no interior do compósito.

A norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) especifica que o inchamento em espessura, máximo permitido, seja de 8% para painéis de alta densidade. Sendo assim, os tratamentos 1, 2 e 3, que continham a maior porcentagem de resíduos termoplásticos, foram os que apresentaram valores de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, menores de 8%.

Comparando-se o tempo de 2 e 24 horas de imersão em água, para o ensaio de inchamento em espessura, observa-se que houve diferença significativa apenas nos tratamentos 1 e 3. Entre o tempo dos demais tratamentos não houve diferença significativa.

Os valores obtidos para absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (Tabela 14) variaram, respectivamente, de 1,81 a 111,06% e de 5,36 a 123,12%, conforme pode ser visto na Tabela 8. O tratamento 1 apresentou a menor porcentagem de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, considerado o melhor tratamento. Esse tratamento apresentou diferença significativa de todos os demais tratamentos.

Teixeira et al. (2002), trabalhando com proporções de 40, 50 e 60% de polietileno de baixa densidade (PEBD), encontraram valores entre 2,77 e 25,50%. Boeglin et al. (1997) obtiveram resultados em torno de 50% após 24 horas de imersão em compósitos com menor porcentagem de plástico.

Tabela 14. Valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.

Tratamentos	**Cod.**	**Absorção 2h (%)**	**Absorção 24h (%)**
RT100	1	1,81 (71,82%) **Fa**	5,36 (55,97%) **Fb**
RT70RP30	2	17,88 (19,46%) **Ea**	22,15 (11,78%) **Eb**
RT60RP40	3	21,31 (8,45%) **Ea**	25,71 (6,30%) **Eb**
RT50RP50	4	29,66 (5,39%) **Da**	32,88 (4,87%) **Da**
RT40RP60	5	38,74 (7,54%) **Ca**	42,78 (6,92%) **Ca**
RT30RP70	6	50,28 (8,21%) **Ba**	55,04 (7,65%) **Ba**
RP100	7	111,06 (11,81%) **Aa**	123,12 (10,54%) **Ab**

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra maiúscula não apresentam diferença estatística, ao nível de 5% de significância. Nas linhas, os valores seguidos da mesma letra minúscula não apresentam diferença estatística, ao nível de 5% de significância. Entre parênteses se encontram os valores do coeficiente de variância (C.V.).

O tratamento 7 apresentou a maior porcentagem de inchamento em espessura e de absorção de água após 2 horas de imersão. Passadas 24 horas de imersão, esse

tratamento apresentou também a maior porcentagem de absorção de água, considerado o pior tratamento.

De acordo com a Tabela 14 as menores porcentagens, considerados os melhores resultados para absorção de água após 24 horas de imersão, foram os tratamentos 1, 2 e 3, sendo que estes dois últimos não apresentam diferença significativa entre si, porém apresentaram diferença significativa entre os demais tratamentos. Não foram encontradas normas que especificassem a porcentagem máxima permitida.

As altas porcentagens de absorção de água se devem ao fato de todos os tratamentos, exceto o tratamento 1, conterem uma porcentagem relativamente alta de fibras naturais, material que absorve umidade.

Pauleski (2005) encontrou resultados parecidos quando trabalhou com polietileno de alta densidade (PEAD) e partículas de madeira, e afirmou que a absorção de água aumentou com o acréscimo da porcentagem de partículas de madeira, pois esta é um material higroscópico (absorve umidade) e o PEAD não é; sendo assim, nos compósitos onde há um aumento na proporção de PEAD, ocorre uma absorção menor.

Os resultados apresentados, quanto ao inchamento em espessura e absorção de água, permitem concluir que os painéis confeccionados com maior porcentagem de resíduos plásticos são mais indicados do que os que contêm maior porcentagem de fibra natural. Verificou-se também que os tratamentos que resultaram em maior inchamento em espessura, foram os mesmos que apresentaram maior índice de absorção de água.

Comparando-se o intervalo de tempo de 2 e 24 horas de imersão em água para o ensaio de absorção de água, pôde-se observar que houve aumento na absorção de água entre 2 e 24 horas de imersão, havendo diferença significativa entre os tratamentos 1, 2, 3 e 7.

4.4 Propriedades mecânicas dos painéis

Na Tabela 15 são apresentados os valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tração perpendicular à superfície (TP). Os valores médios de módulo de ruptura variaram de 4,25 a 8,08 MPa. Os valores médios de

módulo de elasticidade (MOE) variaram de 671 a 981 MPa e os valores médios de tração perpendicular à superfície (TP) variaram de 0,16 a 0,65 MPa.

Tabela 15. Valores médios de módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e tração perpendicular à superfície (TP).

Tratamentos	**Cod.**	**MOR (MPa)**	**MOE (MPa)**	**TP (MPa)**
*RT100	1	4,43 (4,51%) **B**	709 (3,39%) **B**	_____
RT70RP30	2	5,87 (14,82%) **AB**	763 (1,67%) **AB**	0,65 (1,54%) **A**
RT60RP40	3	4,69 (0,64%) **B**	695 (5,70%) **B**	0,42 (9,52%) **BC**
RT50RP50	4	5,84 (7,19%) **AB**	692 (14,00%) **B**	0,50 (2,00%) **B**
RT40RP60	5	8,08 (19,94%) **A**	981 (10,30%) **A**	0,32 (12,5%) **C**
RT30RP70	6	4,75 (9,68%) **AB**	788 (0,90%) **AB**	0,18 (5,55%) **D**
RP100	7	4,25 (15,53%) **B**	671 (2,10%) **B**	0,16 (6,25%) **D**

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%. Entre parênteses se encontram os valores do coeficiente de variância (C.V.).
*Não foi possível executar o ensaio de tração perpendicular à superfície (TP) para este tratamento, pois os corpos de prova não colaram no suporte do equipamento.

O tratamento 5 (40% RT e 60% RP) apresentou o maior valor tanto de módulo de ruptura (MOR) como de módulo de elasticidade (MOE), considerado o melhor e o tratamento 7 (100% fibras naturais = RP100), o menor, considerado o pior tratamento. O tratamento 5 apresentou diferença significativa dos tratamentos 3,1 e 7, considerados os piores tratamentos.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 15, notou-se que os piores resultados para MOR foram os tratamentos com 100% fibras naturais (RP100) e 100% resíduos termoplásticos (RT100). Já para os resultados dos ensaios de MOE o pior tratamento foi o que continha 100% de resíduos da pupunha (RP100). Para os ensaios de flexão estática (MOR e MOE) não foi encontrado nenhum fator que afirmasse que os resíduos da pupunha ou os resíduos termoplásticos tiveram alguma relação sobre os melhores ou piores resultados. Porém Karmaker e Youngquist (1996) e Corrêa (2004) demonstraram que o aumento na porcentagem de fibras naturais (juta e pinus), em compósitos com termoplásticos, elevaram o valor de resistência dos ensaios de flexão estática (MOR e MOE).

Após a análise da distribuição em tamanho das partículas dos resíduos termoplásticos, deduziu-se que as propriedades de flexão estática (MOR e MOE) podem não ter alcançado os valores mínimos almejados, por não ter sido feito um peneiramento inicial ao experimento, para eliminar as partículas mais finas que possivelmente não propiciaram boa aderência entre as partículas, afetando a rigidez do material. As partículas que ficaram retidas nas peneiras de números 60, 70, 120, 140 e no fundo, poderiam ser eliminadas. Haselein et al. (2002 apud Chamma, 2004) concluíram que partículas maiores melhoram as propriedades de flexão estática.

Já para os valores médios de tração perpendicular à superfície (TP), notou-se que os melhores tratamentos foram os que continham a maior porcentagem de resíduos termoplásticos (RT). Como observado na Tabela 13, os resultados obtidos nos testes de tração perpendicular (TP) demonstraram que, á medida que aumenta-se a quantidade de resíduos termoplásticos no compósito, aumenta-se a qualidade do material a aderência, assim ocorre um acréscimo na resistência ao fraturamento. Isso ocorreu porque os resíduos termoplásticos, quando aquecidos, se fundem e grudam uns nos outros, agindo como se fossem uma cola, ajudando a melhorar a adesão entre o elemento matricial (RT) e o reforço (RP). Assim, a adição de adesivos (resinas termofixas ou naturais) é uma boa opção para a melhor adesão das partículas, melhorando consequentemente as propriedades mecânicas dos painéis, atingindo os valores recomendados pela norma ANSI A208.1 (Tabela 16).

O Tratamento 1 (RT100) não foi testado quanto a sua resistência ao ensaio de tração perpendicular à superfície, pois a cola utilizada para colar os corpos de prova no suporte de madeira (e metal) não suportou a carga exercida pelo equipamento na hora do teste.

De acordo com a Tabela 15, todos os valores de tração perpendicular à superfície (TP) atingiram o mínimo recomendado pelos padrões e normas internacionais ANSI A208.1. Porém, para os ensaios de tração perpendicular à superfície, apenas os tratamentos 4 (RT50RP50), 3 (RT60RP40) e 2 (RT70RP30) atingiram valores para painéis de média densidade.

Pela referida norma, todos os tratamentos atingiram o valor mínimo de módulo de ruptura e módulo de elasticidade para painéis de baixa densidade (Tabela 15).

4.5 Enquadramento tecnológico dos tratamentos (de acordo com a norma ANSI)

Para enquadramento final dos painéis de cada tratamento utilizaram-se a norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), simplificada na Tabela 16.

Tabela 16. Classificação, valores mínimos e uso recomendado de painéis pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993).

Classificação em termos de densidade	**Categoria**	**Densidade (g/cm³)**	**MOR (MPa)**	**MOE (MPa)**	**TP (MPa)**	**Uso recomendado**
Baixa densidade	LD1	<0,64	3,00	550	0,10	Enchimento de portas
Baixa densidade	LD2	<0,64	5,00	1025	0,15	Enchimento de portas
Média densidade	M1	0,64 a 0,80	11,00	1725	0,40	Comercial
Média densidade	MS	0,64 a 0,80	12,50	1900	0,40	Comercial
Média densidade	M2	0,64 a 0,80	14,50	2250	0,45	Industrial
Média densidade	M3	0,64 a 0,80	16,50	2750	0,55	Industrial
Alta densidade	H1	0,80	16,50	2400	0,90	Industrial
Alta densidade	H2	0,80	20,50	2400	0,90	Industrial
Alta densidade	H3	0,80	23,50	2750	1,00	Industrial
	PBU		11,00	1725	0,40	Contra piso
	D2		16,60	2750	0,55	Piso
	D3		19,50	3100	0,55	Piso

A Tabela 17 sintetiza os resultados das propriedades físicas e mecânicas apresentados nos itens 4.3 e 4.4.

Tabela 17. Resultados das propriedades físicas e mecânicas.

Ensaios Físicos e Mecânicos	**Melhores tratamentos**	**Piores tratamentos**	**Intervalos dos valores**	**Norma ANSI A208-1**
Densidade (g/cm³)	(1)RT30RP70	RT60RP40 RP100 RT50RP50 RT70RP30 RT100 RT40RP60	0,75 a 0,86	M1, MS, M2, M3, H1, H2, H3, PBU, D2 e D3
Teor de umidade (%)	RT100 RT70RP30 RT60RP40 RT50RP50	RP100 RT40RP60 RT30RP70	0,31 a 8,10	NC
Inchamento 2h (%)	RT100 RT70RP30 RT60RP40 RT50RP50	RP100 RT40RP60 RT30RP70	0,43 a 68,20	NC
Inchamento 24h (%)	RT100 RT70RP30 RT60RP40	RT50RP50 RP100 RT40RP60 RT30RP70	1,01 a 70,12	(2)8%
Absorção 2h (%)	RT100 RT70RP30 RT60RP40	RT50RP50 RP100 RT40RP60 RT30RP70	1,81 a 111,06	NC
Absorção 24h (%)	RT100 RT70RP30 RT60RP40	RT50RP50 RP100 RT40RP60 RT30RP70	5,36 a 123,12	NC
MOR (MPa)	RT40RP60 RT70RP30 RT50RP50	RP100 RT100 RT60RP40 RT30RP70	4,25 a 8,08	LD1 e LD2
MOE (MPa)	RT40RP60 RT30RP70 RT70RP30	RP100 RT50RP50 RT60RP40 RT100	671 a 981	LD1
(3)TP (MPa)	RT70RP30 RT50RP50 RT60RP40	RP100 RT30RP70 RT40RP60	0,16 a 0,65	LD2, M1, MS, M2, M3, PBU, D2 e D3

(1) Único tratamento que atingiu o valor desejado (densidade média – 0,75 g/cm³).

(2) Exigência para a Classe D (painéis de alta densidade – Norma ANSI A208.1).

(3) Não foi possível executar o ensaio de tração perpendicular à superfície (TP) no tratamento RT100, pois os corpos de prova não colaram no suporte do equipamento.

A Figura 31 apresenta o aspecto final dos 7 tratamentos.

Figura 31 - Aspecto dos 7 tratamentos – da esquerda para a direita e de cima para baixo: RP100, RT30RP70, RT40RP60, RT50RP50, RT60RP40, RT70RP30 e RT100.

A Figura 32 apresenta (em formato de encosto de cadeira) o tratamento que apresentou melhores resultados em todos os ensaios, físicos e mecânicos (RT70RP30).

Figura 32 - Encosto de cadeira feito com painel 70% resíduos termoplásticos e 30% resíduos da pupunheira.

A Tabela 18 apresenta a classificação dos tratamentos por categoria.

Tabela 18. Classificação dos tratamentos por categoria de acordo com a norma ANSI A208.1.

Trat.	Densidade	Absorção		Inchamento		MOR	MOE	TP
		2 h	24 h	2 h	24 h			
1	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD1	LD1	----------
2	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD2	LD1	LD1, LD2, M1, MS, M2, M3, PBU, D2, D3
3	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD1	LD1	LD1, LD2, M1, MS, PBU
4	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD2	LD1	LD1, LD2, M1, MS, M2, PBU
5	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD2	LD1	LD1, LD2
6	M1, MS, M2, M3	NC	NC	NC	NC	LD1	LD1	LD1, LD2
7	H1, H2, H3	NC	NC	NC	NC	LD1	LD1	LD1, LD2

Na Tabela 19 são apresentados os resultados de trabalhos de alguns pesquisadores.

Tabela 19. Resultados dos trabalhos de pesquisadores referentes aos ensaios físicos e mecânicos.

Fonte	Material/ Adições	Dens. (g/cm^3)	Absorção (%)		Inchamento (%)		MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)
			2 h	24 h	2 h	24 h			
Chamma (2004)	EM40AR60	0,71	85,51	105,00	33,84	41,55	332,11	1,95	0,04
	EM50AR50	0,75	73,73	102,26	35,69	54,52	196,05	1,43	0,05
	EP40AR60	0,69	45,45	62,16	9,50	12,02	202,44	2,15	0,08
	EP50AR50	0,71	24,33	42,10	4,05	6,63	213,07	2,75	0,06
	EM20EP20AR60	0,79	56,19	65,03	22,89	27,58	197,50	1,56	0,04
	EM25EP25AR50	0,76	42,96	58,82	12,79	18,32	224,07	2,26	0,05
	EM40AM60	0,66	111,07	128,09	42,55	44,76	87,49	0,54	0,07
	EM50AM50	0,68	106,08	114,32	36,60	40,50	136,64	1,19	0,03
	EP40AM60	0,67	70,29	73,13	13,71	15,54	157,38	1,43	0,09
	EP50AM50	0,73	40,51	50,36	9,82	11,19	162,55	1,90	0,12
	EM20EP20AM60	0,69	92,50	99,77	26,40	29,91	78,87	0,98	0,06
	EM25EP25AM50	0,72	84,37	88,43	27,14	32,90	179,10	1,45	0,03
Milagres et al. (2006)***	MD100	0,73	------	38,79	------	21,75* 18,50**	2223* 2204**	18,34* 17,20**	0,73
	MD75PP25	0,73	------	33,49	------	17,41* 14,33**	1462* 1930**	13,57* 16,22**	0,49
	MD50PP50	0,73	------	23,90	------	11,63* 10,73**	1455* 1960**	13,95* 16,67**	0,43
	MD75PEAD25	0,73	------	28,49	------	12,66* 14,16**	2120* 1936**	17,28* 16,74**	1,15
	MD50PEAD50	0,73	------	17,58	------	7,28* 9,44**	1715* 1507**	15,20* 14,16**	0,95
	MD75PEBD25	0,73	------	34,81	------	15,66* 14,46**	1885* 1886**	16,73* 16,45**	0,89
	MD50PEBD50	0,73	------	18,26	------	8,03* 7,51**	1599* 1314**	15,18* 12,90**	0,60

Fiorelli et al. (2011)	Bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona (10 a 15%)	0,93	------	------	19,60	25,07	2432	24,41	1,29

* Adição de adesivo à base de uréia-formaldeído (CASCAMITE PB – 3110).
** Adição de adesivo à base de uréia-formaldeído (CASCAMITE PB – 3110) + Epóxi (Araldite).
*** Em todos os tratamentos do autor Milagres et al. (2006) foi aplicado 0,5% de parafina em emulsão.

EM = embalagem multilaminada
AR = casca de arroz
EP = embalagem plástica
AM = casca de amendoim

4.6 Painéis – Correlação de Pearson

Na Tabela 20 estão apresentados os valores das Correlações de Pearson (r) e o valor P.

Tabela 20. Correlações de Pearson entre as médias das variáveis dos ensaios físicos e mecânicos.

[1]Var	ABS (2h)	ABS (24h)	INCH (2h)	INCH (24h)	DENS	TU	MOR	MOE	TP
ABS (2h)	-	-	0,969***	-	-0,044$^{(NS)}$	0,894**	-0,152$^{(NS)}$	-0,109$^{(NS)}$	-0,754**
ABS (24h)		-	-	0,975***	-0,030$^{(NS)}$	0,885**	-0,173$^{(NS)}$	-0,120$^{(NS)}$	-0,744**
INCH (2h)			-	-	0,082$^{(NS)}$	0,781*	-0,304$^{(NS)}$	-0,245$^{(NS)}$	-0,662*
INCH (24h)				-	0,080$^{(NS)}$	0,781*	-0,311$^{(NS)}$	-0,251$^{(NS)}$	-0.664*
DENS					-	-0,103$^{(NS)}$	-0,186$^{(NS)}$	-0,429$^{(NS)}$	0,447$^{(NS)}$
TU						-	-0,044$^{(NS)}$	-0,009$^{(NS)}$	-0,920**
MOR							-	0,819***	0,232$^{(NS)}$
MOE								-	-0,103$^{(NS)}$
TP									-

[1] Variáveis: ABS – Absorção de água 2 e 24 horas; INCH – Inchamento em espessura 2 e 24 horas; DENS - Densidade; TU – Teor de umidade; MOR – Módulo de ruptura; MOE – Módulo de elasticidade; TP – Tração perpendicular à superfície.
* = $P<0,05$; ** = $P<0,01$; *** = $P<0,001$; NS = não significativo

A única variável que se relacionou com o módulo de elasticidade (MOE) foi o módulo de ruptura (MOR), com forte correlação (r = 0,819), sendo que, com o aumento de MOR, o MOE também tende a se elevar. O valor de P, menor que 0,001, relaciona significativamente essa variável a um nível de confiança de 99,9%.

Já a variável de maior influência para a tração perpendicular (TP) foi o teor de umidade (TU), com uma correlação de -0,920, com uma probabilidade de erro de 1%, relacionando a significância estatística entre as variáveis para um nível de confiança de 99%. Isso significa que, á medida que os valores de TU aumentam, os valores de TP diminuem.

Ainda com relação à TP houve outras variáveis que se correlacionaram, porém com menor influência. São elas: TP se relacionou com a absorção de umidade, tanto para o período de 2 como para o de 24 horas, com coeficientes de -0,754 e -0,744, respectivamente, a uma probabilidade de erro de 1%; TP se correlacionou também com inchamento em espessura de 2 e 24 horas, porém com ainda menor influência (r = -0,662 e -0,664), a uma probabilidade de erro de 5%. Desta maneira, com o aumento dos valores de absorção (2 e 24 horas) e inchamento (2 e 24 horas), há uma diminuição nos valores de TP dos compósitos.

Os maiores níveis de correlação foram encontrados nas relações entre absorção 2 horas e inchamento 2 horas e entre absorção 24 horas e inchamento 24 horas, com coeficientes de 0,969 e 0,975, respectivamente, com um valor de P menor que 0,001, relacionando significativamente essas variáveis a um nível de confiança de 99,9%. Esse alto valor já era esperado, já que a tendência de um material que absorve umidade é tanto mais inchar quanto maior for sua absorção de umidade. Da mesma forma, já era esperado que o teor de umidade se relacionasse com a absorção (2 e 24 horas) e com o inchamento em espessura (2 e 24 horas). Houve correlação, mas com níveis de confiança um pouco mais baixos que os encontrados entre absorção e inchamento. O coeficiente dessa correlação foi de 0,894 e 0,885, para relação entre teor de umidade e absorção 2 e 24 horas, respectivamente, e de 0,781, tanto para relação entre teor de umidade e inchamento 2 horas como para teor de umidade e inchamento 24 horas.

Já para os valores de densidade não houve correlação com nenhuma variável estudada.

4.7 Considerações Finais

Para os ensaios de teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, notou-se que, quanto mais se eleva a porcentagem de fibras naturais (resíduos da pupunheira), maiores são os níveis de umidade, absorção e inchamento nos tratamentos. E, quanto mais se eleva a porcentagem de plástico, menores são esses níveis, ocasionando melhores resultados.

Os tratamentos com maiores porcentagens de plástico, nos ensaios de teor de umidade, absorção de água, inchamento em espessura e tração perpendicular à superfície, tiveram efeito sobre os melhores resultados, exceto para o tratamento com 100% de resíduos termoplásticos, que não foi possível ser testado no ensaio de tração perpendicular à superfície.

Os valores para os ensaios de tração perpendicular à superfície demonstraram que, à medida que aumenta a porcentagem de plástico no compósito, sua resistência também aumenta, do mesmo modo que, aumentando-se a porcentagem de fibras naturais, sua resistência diminui.

Com relação aos resultados dos ensaios de flexão estática (MOR – Módulo de Ruptura e MOE – Módulo de Elasticidade) não foi possível identificar se uma maior porcentagem de resíduos termoplásticos ou resíduos da pupunha foi o que causou melhores ou piores resultados. Pode ter havido uma variação na quantidade de material com granulometrias maiores ou menores (tipo pó), nos diferentes tratamentos, ocasionando essa variação irregular nos resultados de MOR e MOE, sendo necessário um estudo da microestrutura dos painéis, como o ensaio de Microtomografia de raios-X. De acordo com Maloney (1989) as propriedades mecânicas, como resistência e rigidez à flexão e resistência à tração perpendicular à superfície (ligação interna), são afetadas pela geometria das partículas. Vital et al. (1992), observou que o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular; mas ocasiona a redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade. Essas duas propriedades são aprimoradas quando se aumenta o comprimento das partículas.

As correlações entre absorção (2 e 24 h) e inchamento (2 e 24 h); absorção (2 e 24 h) e teor de umidade; inchamento (2 e 24 h) e teor de umidade e entre o

módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, tiveram relação direta, ou seja, o aumento de uma variável influenciou no aumento da outra.

Já para os valores negativos dos coeficientes, as correlações entre absorção (2 e 24 h) e tração perpendicular; inchamento (2 e 24 h) e tração perpendicular e entre teor de umidade e tração perpendicular, tiveram relação inversa, ou seja, o aumento de uma variável influenciou na redução da outra.

As variáveis com os maiores níveis de correlação foram: entre absorção 2 h e inchamento 2 h e entre absorção 24 h e inchamento 24 h, o que já era esperado, pois à medida que um material absorve umidade, a tendência é que o inchaço aumente.

Os baixos resultados das propriedades mecânicas podem ter sido causados pela má adesão entre matriz e reforço, podendo ter sobrado espaços vazios entre eles, ou não ocorreu a fusão completa dos termoplásticos no meio do painel, sendo interessante o ensaio de microtomografia de raios-X para obter imagens da microestrutura dos painéis compósitos.

Estudos mais aprofundados dos painéis compósitos, como ensaios de microtomografia de raios-X, arrancamento de parafusos, exposição ao intemperismo artificial e usinagem (serragem, aplainamento, furação), são interessantes para garantir resultados mais conclusivos.

Mesmo sabendo que as fibras naturais suportam temperaturas de até 220°C, o correto seria fazer a Análise Termogravimétrica (TGA) dos resíduos da pupunheira (bainhas externas e mediana) para saber o limite máximo de temperatura que a fibra suporta antes de começar a se degradar.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de painéis compósitos, a partir da mistura entre resíduos termoplásticos e da pupunheira, em diferentes proporções.

Como conclusão principal, os tratamentos estudados tiveram bom desempenho físico-mecânico, considerando que nenhuma resina foi adicionada.

Dos resultados já discutidos no capítulo anterior, cabe destacar:

- Nos ensaios de densidade, todos os tratamentos estão com os valores enquadrados na referida norma. Porém, quase todos apresentaram valores superiores ao valor desejado de 0,70 g/cm³, sendo classificados como painéis de alta densidade. Apenas o tratamento 6 teve o valor aproximado de 0,75 g/cm³, sendo classificado pela norma como painel de média densidade. Os demais painéis classificados de alta densidade, podem ser classificados como de média densidade, diminuindo-se a massa do painel antes de sua formação na prensa.

- Com relação aos ensaios de flexão estática (MOR e MOE) não foi possível identificar se uma maior porcentagem de resíduos termoplásticos ou resíduos da pupunha foi o que causou melhores ou piores resultados. Porém, na literatura, como descritos no capítulo anterior, foram encontrados trabalhos demonstrando que as fibras naturais em maiores proporções que os plásticos, nos ensaios de flexão estática (MOR e MOE), têm efeito sobre os

melhores resultados. E, também, as propriedades mecânicas, como resistência e rigidez à flexão e resistência à tração perpendicular à superfície (ligação interna), são afetadas pela geometria das partículas.

- O tratamento RT70RP30 (70% resíduos termoplásticos com 30% resíduos da pupunha) apresentou melhores resultados nos ensaios físicos e mecânicos testados, e o tratamento RT60RP40 (60% resíduos termoplásticos com 40% residuos da pupunha) apresentou os melhores resultados na maioria dos ensaios, sendo inferior apenas nos ensaios de flexão estática (MOR e MOE).

Para melhorar as propriedades finais dos tratamentos estudados neste trabalho, ficam como sugestões:

- Diminuir a massa dos painéis antes de sua formação na prensa, para serem classificados como painéis de média densidade, de acordo com a referida norma.

- Diminuir a quantidade de material com granulometrias menores que 250μm para melhorar as propriedades mecânicas de flexão estática (MOR e MOE).

- Produção de painéis em três camadas: na camada central as granulometrias maiores e nas extremidades as menores.

- Utilização de emulsão de parafina para reduzir a absorção de água pelas fibras naturais e também melhorar a estabilidade dimensional do painel.

- Adição de adesivos (resinas termofixas ou naturais), substituindo em 10% o elemento matricial (resíduos termoplásticos), para melhorar a adesão entre as partículas, garantindo uma maior estabilidade dimensional e, por consequência, melhorar as propriedades físico-mecânicas dos painéis.

Uma opção de adesivo natural é a lignina que, nos materiais lignocelulósicos, fortalece e enrijece a parede celular da fibra e mantém as células unidas. A

intenção da adição de lignina nos painéis é que ela aja da mesma forma no material compósito, estruturando, unindo as partículas e fortalecendo os painéis.

Os resíduos sólidos urbanos, industriais e agroindustriais, utilizados como matéria-prima e aliados à tecnologia de produção de painéis compósitos, representam um grande avanço no mercado mundial. Esses resíduos podem ter rendimentos mais satisfatórios para a sua utilização, contrapondo-se às aplicações tradicionais, como materiais descartados em aterros, por exemplo. Os resíduos plásticos e as fibras naturais devem ser utilizados como matéria-prima para a produção de materiais alternativos, em diversos segmentos, principalmente na construção civil e na indústria moveleira, podendo ser utilizados em ambiente urbano ou rural, atendendo ao conceito de produto ecoeficiente.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMPÓSITOS. Compósitos. São Paulo. Disponível em: <http://www.abmaco.org.br/>. Acesso em: 17 mai. 2007.

PALMITO. **Agrianual 2011:** Anuário da Agricultura Brasileira, São Paulo, p. 398-399, 2010.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1-1993***:* mat-formed wood particleboard: Specification. Gaithersburg: National Particleboard Association, 1993. p. 13.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-90:** standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 2006. v. 4/9, 30 p. Annual Book of ASTM Standards.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2565-99:** standard practice for xenon-arc exposure of plastic intended for outdoor applications. Philadelphia, 1999. v. 8/1, 4 p. Annual Book of ASTM Standards,

AMICO, S. C. **APOSTILA**: mini-curso materiais compósitos poliméricos. Joinville, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BAAN, R. A.; GROSSE, Y. Man-made mineral (vitreous) fibres: evaluations of cancer hazards by the IARC Monographs Programme. **Mutation Research**, Amsterdam, Holanda, n. 553, p. 43-58, 2004.

BACELLAR, R. S.; D'ALMEIDA, J. R. M. **Caracterização microestrutural e mecânica da pupunha**. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2008. 12 p.

BARROS, B. C. **Estudo do comportamento físico e morfológico da blenda poliamida 6.6 e acrilonitrila butadieno estireno**. 1998. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BOEGLIN, N.; TRIBOULOT, P.; MASSON, D. A feasibility study on boards from wood and plastic waste: bending properties, dimensional stability and reveling of the board. **Holz als Roh-und Wekstoff**, Berlin, v. 55, p.13-16, 1997.

BOVI, M. L. A. Expansão do cultivo da pupunheira para palmito no Brasil. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, p. 183-185, 1997.

CALLISTER, Jr.; WILLIAM D. **Ciência e engenharia de materiais:** uma introdução. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008. 705 p.

CANILHA, L. et al. Sacarificação da biomassa lignocelulósica através de pré hidrólise ácida seguida por hidrólise enzimática: uma estratégia de "desconstrução" da fibra vegetal. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 44, p. 48-54, 2010.

CANTO, E. L. **Plástico:** bem supérfluo ou mal necessário? São Paulo: Moderna, 1995. 88 p.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Coleta Seletiva. São Paulo. Disponível em: <http://www.cempre.org.br>. Acesso em: 20 abr. 2010.

CORREA, C. A. Laboratório de blendas e compósitos termoplásticos. **Palestra**. Itatiba: Universidade São Francisco, 2004.

CORREA, C. A. et al. Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.13, n. 3, p. 154-165, 2003.

CORRÊA, G. R. **Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira**. 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Estadual de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

DERMIBAS, A. Combustion characteristics of different of biomass fuels. **Progress in energy and combustion Science,** Oxford, UK, v. 30, n. 2, p. 219-230, 2004.

ECKERT, C. H. Market opportunities for natural fibers in plastics composites: In: PROCEEDING OF THE WOOD-PLASTIC CONFERENCE, 2000, Baltimore. **Conference**… Baltimore, USA, 2000. p. 87-106.

EMBRAPA. Processamento do Palmito de Pupunheira em Agroindústria Artesanal - Uma atividade rentável e ecológica. Seropédica, RJ, 2004. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pupunha/PalmitoPupunheira/colheita.htm>. Acesso em: 22 ago. 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**: particleboards and fibreboards. Determination of swelling in thickness after immersion in water. 1993. 12 p.

FERREIRA, V. L. P. et al. Comparação entre os palmitos das palmeiras *Giulielma gasipaes* Bayley (pupunha) e *Euterpe edulis* Mart. (juçara). **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas. 1982. v. 12. p. 273-282.

FERRI, M. G. et al. **Glossário ilustrado de botânica**. São Paulo: Nobel, 1981. p. 15.

FIORELLI, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology,** Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406,

2011.

FONSECA, E. B. A.; MOREIRA, M. A.; DE CARVALHO, J. G. **Cultura da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth.)**. Universidade Federal de Lavras, Boletim Técnico. Cuiabá, MT, n.29. p. 45, 2002.

GIORDANO, B. N. E. **Resíduos do processamento da Palmeira-Real (*Archontophoenix alexandrae*) na Fazenda Princesa do Sertão:** Implantação da indústria para a fabricação de biscoitos fibrosos. 2007. 68 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GREENPEACE. The trash vortex. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/international/en/campaigns/oceans/pollution/trash-vortex/>. Acesso em: 22 ago. 2011.

GRIPPI, S. **Lixo**: reciclagem e sua história - guia para as prefeituras brasileiras. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006. p. 27-28.

HESTERBERG, T. W et al. Studies on the inhalation toxicology of two fiberglass and amosite asbestos in the syrian golden hamster. Part 1. results of a subchronic study and dose selection for a chronic study. **Inalation Toxicology**, n. 11, p. 747-784, 1999.

JIANG, H.; KAMDEM, P. Development of poly(vinyl chloride)/wood composites: A literature review. **Journal of Vinyl and Additive Technology**, v. 10, n. 2, p. 59-69, 2004.

JIANG, H. et al. Mechanical properties of poly(vinyl chloride)/wood flour/glass fiber hybrid composites. **Journal of Vinyl and Additive Technology**, v. 9, p. 138, 2003.

JOSEPH, K.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, L. H. Compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras curtas de sisal. **Polímeros:** Ciência e Tecnologia, São Carlos, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v9n4/6195.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2011.

KARMAKER, A. C.; YOUNGQUIST, J. A. Injection molding of polypropylene reinforced with short jute fibers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 62, p. 1147-1151, 1996.

LEÃO, A. L. **Viabilidade técnica da produção de compósitos não-estruturais à base de lignocelulósicos**. 1997. 144 f. Tese (Livre-docência)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

LIMA, L. R.; MARCONDES, A. A. **Farinha de palmito**. Itajaí, 2002. Projeto apresentado à EPAGRI/Estação Experimental de Itajaí.

LIMA, T. A. M.; MAGALHÃES, W. L. E. Produção de painéis de pupunha com diferentes tipos de resina. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: EBRAMEM, 2008. 1 CD-ROM.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 2, 384 p.

LORENZI, H. et al. **Palmeiras brasileiras e exóticas cultivadas**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2004. 432 p.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 195 p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 191 p.

MARABEZI, K. **Estudo sistemático das reações envolvidas na determinação dos teores de lignina e holocelulose em amostras de bagaço e palha de cana-de-açúcar**. 2009. 142 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MILAGRES, E. G. et al. Compósitos de partículas de madeira de Eucalyptus grandis, polipropileno e polietileno de alta densidade. **Revista Árvore,** Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 463-470, 2006.

MONTEIRO, M. A. M. et al. Estudo químico de alimentos formulados à base de palmito *Bactris gasipaes* H.B.K. (pupunha) desidratado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, n. 3, p. 211-215, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612002000300002>. Acesso em: 05 out. 2011.

MOTHÉ, C. G.; ARAUJO, C. R. Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá. **Polímeros:** Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 14, n. 4, p. 274-278, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/po/v14n4/22073.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2010.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. **Manual de laboratórios:** solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. p. 145-199.

OLIVEIRA, J. C. de. **Desenvolvimento de materiais e processos para compósitos termoplásticos com fibras naturais**. 2009. 77 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais –Universidade de São Francisco, Itatiba, 2009.

PALMITOS ROSOLEN. Pupunha. Cajobi, 2010. Disponível em: <http://www.palmitosrosolen.com.br>. Acesso em: 11 mar. 2011.

PAULESKI, D. T. et al. Características de compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 157-170, abr./jun. 2007.

PEREIRA, J. C. **Projeto estrutural com materiais compostos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Grupo de Análise e Projeto Mecânico, 2003. 174 p. Apostila.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru: Canal6, 2007. 240 p.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros.** 2004. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

RIBEIRO, T. R. A. de. **Estudo da utilização de embalagens multifoliadas para produção de painéis.** 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

RODOLFO JUNIOR, A.; JOHN, V. A. Desenvolvimento de PVC reforçado com resíduos de *pinus* para substituir madeira convencional em diversas aplicações. **Polímeros:** Ciência e

Tecnologia, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2006.

SALAZAR, V. L. P.; CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Avaliação dos produtos de emissão a partir da pirólise de assentos automotivos feitos de fibra de coco e de espuma de poliuretano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 2, p. 162-166, 2005. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v10n02/v10n02a07.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2010.

SANCHEZ, C. G. et al. Polyester resin composite with sugar cane bagasse: influence of fibers treatment in flexural and tensile strenght and accelerated aging. In: PPS 2004 Americas Regional Meeting, 2004, Florianópolis. **Program and proceedings**... 2004. v. 1, p. 46-47.

SANTOS, A. S. **Estudo da viabilidade de aplicação de fibras da pupunha (*Bactris gasepaes*) como alternativa à fibra de vidro no desenvolvimento de produtos**. 2007. 98 p. Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente)–Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2007.

SCAN-BULK DENSITY. **SCAN-CM 46**: pulp, paper and board. Suécia, 1992. 4 p.

STARK, N.; SCHENEIDER, J. P. **Waste-wood-derived fillers for plastics**. Madison: USDA, Forest Product Laboratory, 1996. General Technical Report FPL-GTR-91.

TEIXEIRA, D. E.; MOREIRA, J. M. A. P.; COSTA, A. F. Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 72-80, 2002.

YAM, P. Fiber that may not be good for you. **Chemical Week**, v. 158, n. 36, p. 49, 1996.

YOUNGQUIST, J. A. Wood-based composites and panel products. In: **Wood handbook:** wood as an engineering material. Madison: USDA Forest Service, Department of Agriculture, Forest Products Laboratory, 1999, Chap. 10, 463 p.

YUYAMA, K. Sistemas de cultivo para produção de palmito da pupunheira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 15, p. 191, 1997.

ZANIN, M.; MANCINI, S. D. **Resíduo plástico e reciclagem:** aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: Editora UFSCAR, 2004. 143 p.