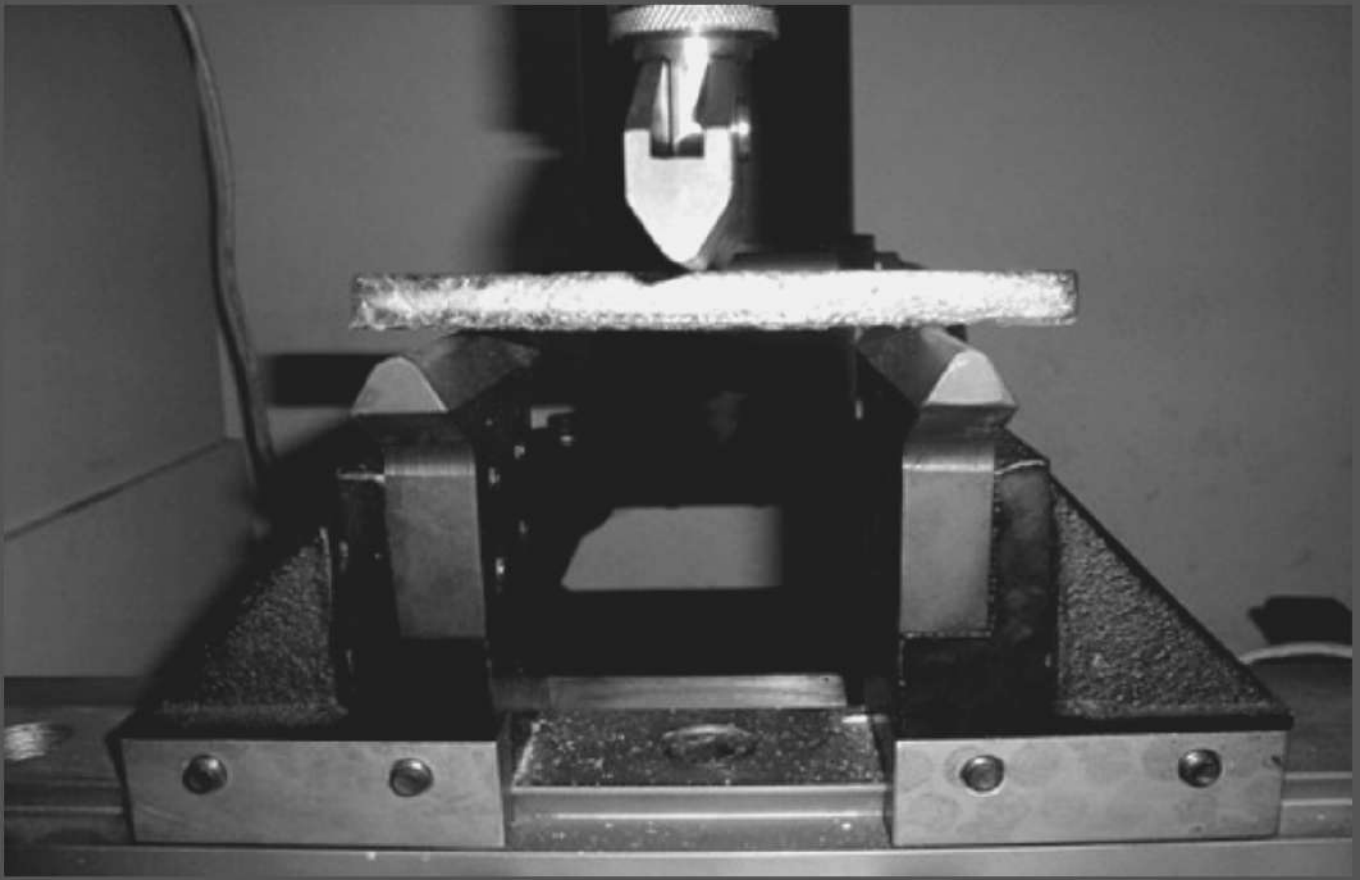


Estudo da resistência a flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET, resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa de madeira.

CLEYSON SANTOS DE PAIVA





Estudo da resistência a flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET, resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa de madeira.



Direção

Gestão de Editoração

Gestão de Sistemas

Conselho Editorial

EDITORA ENTERPRISING

Nadiane Coutinho

Antonio Rangel Neto

João Rangel Costa

- Sérgio Henrique de Oliveira Lima, Dr. UFCA;
- Fabiane Cortez Verdu, Dra. UEM;
- Mirelle Cristina de Abreu Quintela, Dra. UFVJM;
- Cátia Rodrigues Barbosa, Dra. UFMG;
- Eugenia Maria Mariano da Rocha Barichello, Dra. UFSM;
- Francisco Horácio da Silva Frota, Dr. UECE;
- Eliana Alcantra, Dra. UninCor;
- Agnaldo de Sousa Barbosa, Dr. UNESP;
- Cibele Barsalini Martins, Dra. UFSC;
- Jane Mendes Ferreira Fernandes, Dra. UFPR.

Copyright © 2021 da edição brasileira.

by Editora Enterprising.

Copyright © 2021 do texto.

by Autores.

Todos os direitos reservados.



Todo o conteúdo apresentado neste livro, inclusive correção ortográfica e gramatical, é de responsabilidade do(s) autor(es). Obra sob o selo Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional. Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Diagramação	João Rangel Costa
Design da capa	Nadiane Coutinho
Revisão de texto	Os autores



EDITORA ENTERPRISING

www.editoraenterprising.net

E-mail: contacto@editoraenterprising.net

Tel. BR: (62) 98229-0750

CNPJ: 40.035.746/0001-55

CLEYSON SANTOS DE PAIVA

**ESTUDO DA RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE
COMPÓSITOS PROCESSADOS A PARTIR
DE RESÍDUOS: GARRAFAS PET, RESÍDUO
DO BENEFICIAMENTO DO CAULIM E
BIOMASSA DE MADEIRA**



Macapá - AP

D278

DE PAIVA, Cleyson Santos. ESTUDO DA RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE COMPÓSITOS PROCESSADOS A PARTIR DE RESÍDUOS: GARRAFAS PET, RESÍDUO DO BENEFICIAMENTO DO CAULIM E BIOMASSA DE MADEIRA. Macapá: Editora Enterprising, 2022.

(Estudo da resistência a flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET, resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa de madeira.)

Livro em PDF

102 p., il.

ISBN: 978-65-84546-09-7

DOI: 10.29327/556133

1. Biomassa 2. Caulim 3. Compósito 4. PET.

I. Título.

CDD: 620

Acreditamos que o conhecimento é a grande estratégia de inclusão e integração, e a escrita é a grande ferramenta do conhecimento, pois ela não apenas permanece, ela floresce e frutifica.

Equipe Editora Enterprising.

Apresentação

Prezados(as) leitores(as),

É crescente o número de pesquisas no Brasil voltadas ao tratamento de resíduos sólidos. Como exemplo podemos citar os resíduos poliméricos, que após o consumo do produto interno ao vasilhame plástico são descartados em aterros sanitários, ou simplesmente eliminados no meio ambiente. No Estado do Amapá, não diferente dos demais Estados do Brasil, grande é a quantidade gerada e pouco é a reutilização deste resíduo. Além dos resíduos plásticos, o Amapá se depara com problemas voltados a destinação final de resíduos industriais, por exemplo, o resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa vegetal. Para disposição final, grandes áreas são destinadas para depósito, formando imensas lagoas e pilhas de caulim e biomassa, respectivamente. Uma alternativa para resolver este problema foi o processamento de um compósito da mistura destes três resíduos (plástico utilizado foi o PET, biomassa e caulim). Este trabalho avaliou o comportamento mecânico a flexão em três pontos do compósito de madeira plástica processada com e sem a adição do resíduo do beneficiamento do caulim de forma a se identificar a resistência do material bem como a existência de sua viabilidade de adição da biomassa e do caulim ao PET. Para isso foram confeccionados 120 corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de flexão em três pontos em máquina universal de ensaios mecânicos de acordo com a norma ASTM D 790. No final de cada 10 ensaios mecânicos de uma determinada composição dos CP's foi retirada a média dos valores e plotado em gráfico para visualização dos dados. Foram analisados os resultados e verificou que inviabilidade da adição de madeira ao PET, devido ao compósito ser um material frágil, mas quando adicionado o resíduo do beneficiamento de caulim e madeira no PET nota-se a viabilidade, desde que seja na proporção 40% de caulim e 60% da mistura PET com madeira. Já para misturas com 50% de caulim torna-se inviável o processamento.

Cleyson Santos de Paiva

Agradecimentos

Agradeço a Deus, por estar presente em todos os momentos da minha vida.

Ao Prof. Felipe Fernandes da Costa Tavares, por ter me ajudado para que este trabalho se realizasse e pela paciência, pela sua compreensão, dedicação e ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

A minha esposa Arielle Sayame Castro Uchoa pela compreensão, atenção, incentivo e carinho.

Ao meu colega Guilherme Cerqueira Otto pela sua ajuda para o desenvolvimento deste trabalho.

A todos da minha família e a minha Irmã, Helen Santos de Paiva, que sempre me apoiou e contribuiu para publicação deste trabalho.

A todos os professores da UEAP que contribuíram com o meu conhecimento.

Dedicatória

Dedico este trabalho a meu pai e minha mãe, Claubenil Sebastião Botelho de Paiva e Vilma Gregolon Santos, que são responsáveis pela minha carreira de estudante, pois sei do grande amor e carinho que eles tem de mim.

Aos meus irmãos: Wanderson Santos de Paiva e Helen Santos de Paiva, que sempre me deram atenção e me ajudaram em vários momentos.

A minha avó Selma Botelho de Paiva, por ter me dado carinho.

A todos os técnicos da UEAP: Alan Ferreira de Matos, Rafael da Silva Cirqueira e Robério Calixto.

“O que a força destrói, a mente recria e o homem transforma”.

Cleyson Paiva

RESUMO

PAIVA, C. S. Estudo da resistência a flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET, resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa de madeira.

É crescente o número de pesquisas no Brasil voltadas ao tratamento de resíduos sólidos. Como exemplo podemos citar os resíduos poliméricos, que após o consumo do produto interno ao vasilhame plástico são descartados em aterros sanitários, ou simplesmente eliminados no meio ambiente. No Estado do Amapá, não diferente dos demais Estados do Brasil, grande é a quantidade gerada e pouco é a reutilização deste resíduo. Além dos resíduos plásticos, o Amapá se depara com problemas voltados a destinação final de resíduos industriais, por exemplo, o resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa vegetal. Para disposição final, grandes áreas são destinadas para depósito, formando imensas lagoas e pilhas de caulim e biomassa, respectivamente. Uma alternativa para resolver este problema foi o processamento de um compósito da mistura destes três resíduos (plástico utilizado foi o PET, biomassa e caulim). Este trabalho avaliou o comportamento mecânico a flexão em três pontos do compósito de madeira plástica processada com e sem a adição do resíduo do beneficiamento do caulim de forma a se identificar a resistência do material bem como a existência de sua viabilidade de adição da biomassa e do caulim ao PET. Para isso foram confeccionados 120 corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de flexão em três pontos em máquina universal de ensaios mecânicos de acordo com a norma ASTM D 790. No final de cada 10 ensaios mecânicos de uma determinada composição dos CP's foi retirada a média dos valores e plotado em gráfico para visualização dos dados. Foram analisados os resultados e verificou que inviabilidade da adição de madeira ao PET, devido ao compósito ser um material frágil, mas quando adicionado o resíduo do beneficiamento de caulim e madeira no PET nota-se a viabilidade, desde que seja na proporção 40% de caulim e 60% da mistura PET com madeira. Já para misturas com 50% de caulim torna-se inviável o processamento.

Palavras-chave: biomassa, Caulim, Compósito, PET.

ABSTRACT

PAIVA, C. S. Study by resistance to bending of composites processed from waste: PET bottle, waste of the processing of biomass and kaolin.

A growing number of studies in Brazil focused on the treatment of solid waste. As an example, we can mention the waste polymer, that after the consumption of domestic product to the plastic bottle are discarded in landfills, or simply discarded in the environment. In the State of Amapá, not unlike the other States of Brazil, is a great little number is generated and the reuse of this waste. In addition to the plastic waste, Amapá faces problems facing the disposal of industrial waste, for example, the residue from the processing of kaolin and plant. For disposal, large areas are intended for deposit, trainees immense lagoons and stacks of kaolin and biomass, respectively. An alternative to solve this problem was the processing of a composite mixture of these three residues (PET plastic was used, biomass and kaolin). This study evaluated the mechanical behavior of the three-point bending of the wood plastic composite processed with and without the addition of the residue from the processing of kaolin in order to identify the strength of the material as well as the existence of the feasibility of adding biomass and kaolin to PET. For that were made 120 specimens that were tested on three-point bending in universal mechanical testing machine in accordance with ASTM D 790. At the end of each 10 mechanical testing of a given composition of the CP's withdrawal was the average of the values and plotted on graph for data visualization. We analyzed the results and found that viability of adding PET to the wood, because the composite is a brittle material, but when added to the residue and the beneficiation of kaolin grade PET timber in the viability, since the proportion is 40% kaolin and 60% PET blend with the wood. As for mixtures with 50% kaolin becomes infeasible processing.

Keywords: Biomass, composite, kaolin, PET.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 – Municípios, segundo a destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos – Brasil – 2008.....	19
Figura 2 – Unidade repetitiva do PET, no detalhe o grupo funcional éster.....	22
Figura 3 – (a) Distribuição percentual de resíduos sólidos no Brasil. (b) Quantidade de resíduo polimérico termoplástico PET gerado no Brasil.....	24
Figura 4 – Vantagens da reciclagem do PET.....	24
Figura 5 – Comparação entre países na reciclagem do PET.....	25
Figura 6 – Evolução da recuperação de PET no Brasil de 2003 a 2010.....	25
Figura 7 – Os usos finais do PET reciclado no Brasil.....	26
Figura 8 – Serragem de madeira após passar por moinho de facas.....	28
Figura 9 – Deposição dos resíduos caulínicos em lagoas de sedimentação....	29
Figura 10 – Localização das jazidas de caulim da Amazônia.....	30
Figura 11 – Classificação dos vários tipos de compósito em função da fase Dispersa.....	31
Figura 12 – (a) Painéis estruturais reforçado por madeira. (b) painéis de plástico reforçado com madeira.....	32
Figura 13 – Procedimento de teste de resistência à flexão utilizando ASTM D 790.....	35
Figura 14 – Configuração do corpo de prova de flexão em três pontos.....	36
Figura 15 – a) Estufa: Solotest, modelo EEL 81 08 B 11. b) Forno Mufla: Indústrias Fornus Magnus. c) Moínho de martelo: Solab, modelo SL-034. d) Moínho de facas modelo SL 33: e) Areia de PET.....	38
Figura 16 – a) Composição C – 35 – T, b) composição C – 35 – NT, c) composição C – 14 – T, d) composição C – 14 - NT, e) composição C – 8 – T, f) composição C – 8 – NT. g) Amostras de pó madeira tratada e não tratada.....	39
Figura 17 – CP`s conformados, onde: a) é o CP de PET sem adição de resíduo, b) composição C-35-t, c) composição C-35-NT, d) composição C-14-T, e) composição C-14-NT, f) composição C-8-T e g) C-8-NT	41

Figura 18 – CP`s conformados, onde: PET é o CP sem adição de resíduo e A1, A2, A3, A4 e A5, são os CP`s referentes a cada composição da Tabela 4.....	41
Figura 19 – (a) inviável mistura da composição A6 (visão superior); (b) inviável mistura da composição A6 (visão posterior).....	41
Figura 20 – Ensaio de resistência à flexão em três pontos.....	42
Figura 21 – Gráfico comparativo dos ensaios de RF.....	43
Figura 22 – Gráfico comparativo dos ensaios de RF e do PET sem adição (controle).....	43
Figura 23 – Superfícies de fratura das composições sem adição de caulim: a) C – 35 – NT, b) C – 35 – T, c) C – 14 – NT, d) C – 14 – T, e) C – 8 – NT, f) C – 8 – T, g) PET sem adição.....	44
Figura 24 – Superfícies de fratura das composições com adição de caulim (a) composição A1; (b) composição A2; (c) composição A3; (d) composição A4; (e) composição A5.....	45

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 – Destino final de resíduos sólidos em alguns países do mundo.....	20
Tabela 2 – Tipos de degradação em polímeros.....	34
Tabela 3 – Distribuição granulométrica de serragem de madeira tratada e não tratada com NaOH.....	41
Tabela 4 – Quantidades percentuais do compósito de madeira plástica com adição de caulim.....	42
Tabela 5 – Valores médios do ensaio de resistência à flexão dos CP's sem caulim.....	44
Tabela 6 – Valores médios do ensaio de resistência a flexão dos CP's com caulim.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CP	Corpo de prova
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cm	Centímetros
EUA	Estados Unidos da América
FDA	O Food and Drug Administration
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LevPET	Leve PET
KN	Quilo Newtons
Min	Minutos
NaOH	Hidróxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NUHAM	Núcleo de Habitação da Amazônia
ONGs	Organizações Não Governamentais
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PET	Polietileno Teraftalato
PEVs	Pontos de Entrega Voluntária
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RBC	Resíduo do beneficiamento de caulim
RF	Resistência a Flexão
UEAP	Universidade do Estado do Amapá
UFPA	Universidade Federal do Pará
WPC	Wood plastic composite

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
m ³	metro cúbico
cm ³	centímetro cúbico
°C	graus célsius
pH	potencial hidrogeniônico
m/v	massa por volume
N	Newtons
±	mais ou menos
Pa	Pascal
K	quilo
MPa	mega Pascal

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	16
2. REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1. RESÍDUOS.....	18
2.1.1 Polímero polietileno tereftalato e seus resíduos.....	21
2.1.2 Resíduos da produção da celulose (biomassa).....	26
2.1.3 Resíduos de caulim.....	29
2.2. COMPÓSITOS: A MADEIRA PLÁSTICA.....	31
2.2.1 Resistência à flexão de compósitos do tipo madeira plástica.....	34
3 OBJETIVO GERAL	37
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	37
4. METODOLOGIA	38
4.1 TRATAMENTO DAS AMOSTRAS PARA A CONFORMAÇÃO.....	38
4.1.1. Garrafas PET usadas.....	38
4.1.2. Biomassa proveniente da madeira.....	39
4.1.3. Resíduo do beneficiamento do caulim.....	40
4.2. CONFORMAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	40
4.2.1 De serra de madeira com PET.....	40
4.2.2. De serra de madeira, PET e com adição de caulim.....	42
4.3 ENSAIOS MECÂNICOS.....	43
5. RESULTADOS	44
5.1. COMPÓSITO DE MADEIRA PLÁSTICA PROCESSADA SEM ADIÇÃO DE CAULIM.....	44
5.2. COMPÓSITO DE MADEIRA PLÁSTICA PROCESSADA COM ADIÇÃO DE CAULIM.....	45
5.3. FRACTOGRAFIA MACROSCÓPICA DOS CP`S.....	46
5.4. ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	47
5.4.1. Compósito de madeira plástica processada sem adição de caulim..	47
5.4.2. Compósito de madeira plástica processada com adição de caulim..	48
6. CONCLUSÃO	49
7. SUGESTÕES	50
REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento geográfico evoluiu com o passar dos tempos, permitindo compreender como os processos naturais e antrópicos influenciam de muitas maneiras o espaço geográfico. Nesse sentido, para o ensino de Geografia, a observância das temáticas físico-naturais desde o Ensino Básico é indispensável, pois abarca aspectos e fenômenos que muitas vezes são vivenciados pelo educando em seu cotidiano.

A quantidade de lixo que é gerada no mundo é alarmante, esta pode causar impactos ao meio ambiente e para o ser humano. A sociedade por sua vez contribui com grande parte desse lixo devido à falta de educação ambiental, de políticas públicas e projetos voltados para o tratamento de resíduos.

Devido a pressões mundiais para atender a expectativas socioambientais, em alguns países como a Alemanha, Holanda e Suécia as empresas são consideradas responsáveis pelos impactos produzidos na natureza e no bem estar da sociedade relativa aos seus produtos até mesmo após a vida útil a que foram gerados, assumindo esta responsabilidade preferencialmente através de acordos voluntários, tendo assim o acréscimo de participação na preocupação com o descarte desses produtos, agora rejeitos, na natureza (CHEREBE, 1997).

“Todo produto, não importa de que material seja feito, madeira, vidro, plástico, metal ou qualquer outro elemento, provoca um impacto no meio ambiente, seja em função de seu processo produtivo, das matérias-primas que consome, ou devido ao seu uso ou disposição (CHEREBE, 1997)”.

Segundo o Relatório Planeta Vivo 2008, divulgado pela instituição WWF-Brasil, a Pegada Ecológica Global, que é uma ferramenta criada para conscientizar através da comparação do nível de consumo e descarte atual com o tolerável pelo meio ambiente, é 30% superior à capacidade de regeneração ambiental do planeta. Logo é necessário avaliar os padrões de produção, objetivando o consumo sustentável, por exemplo, através do uso de fontes de energia menos poluidoras, diminuindo a produção de lixo e reciclando o máximo possível, além de rever quais produtos e bens são realmente necessários para alcançar o bem-estar. É possível e é permitido aos países crescer economicamente, desde que não repitam perenemente, um modelo predatório, buscando alternativas para gerar

riquezas sem promover, por exemplo, a destruição de florestas ou contaminação das fontes de água (RODRIGUES, S.C.; PEIXOTO, J.A.A.; XAVIER, L.S, 2009).

Neste contexto, a madeira presente em todas as épocas da sociedade humana, utilizada para o desenvolvimento tecnológico em cada uma delas, é uma fonte de matéria prima renovável, cujas aplicações também se dão pelo desenvolvimento de novos projetos de produtos. Apesar de potencialmente renovável, sua produção ainda é alvo de ilegalidade e desperdício ao meio ambiente. Assim empresas que beneficiam madeira, por exemplo, para produção de dormentes, após determinado tempo de uso, são descartados os rejeitos de madeira, formando imensas pilhas de resíduo, chamadas de biomassa, causando diversos tipos de poluição além de diversos outros problemas ambientais e sociais como o do trabalho infantil existente em carvoarias, para a produção de carvão, que é um uso menos nobre para muitas espécies vegetais (IMAZON; IMAFLORA; SMERALDI; VERÍSSIMO, 1999).

Nesta mesma conjuntura, a produção mineral é uma atividade econômica muito importante, pois impacta na economia do mundo. Empresas que beneficiam minerais como o caulim possuem um elevado volume de produção, porém são responsáveis pela geração de resíduos que são armazenados no meio ambiente, que por sua vez podem ocasionar algum risco ambiental caso não seja realizado as devidas precauções por parte da empresa geradora de resíduo. O problema se estende com o desperdício de energia e matéria prima, onde muitos destes resíduos possuem muitas aplicações em indústrias como as de cerâmica, de gesso e de cimento para a fabricação de insumos destinados a construção civil (BARATA, 1998; FLORES, 2000).

Outro material que tem importante papel no desenvolvimento tecnológico e social, onde também ocorrem problemas ambientais são os polímeros, mais conhecidos como plásticos, em especial o polietileno tereftalato (PET), que é matéria-prima base dos derivados do petróleo, passou a ser um material comum e gradativamente importante para a sociedade consumista. No entanto, por falta de políticas públicas eficientes, aliadas a imprudência da sociedade, os plásticos, passaram de estado da arte tecnológico para um mal necessário moderno (TAVARES, 2007).

Por consequência este trabalho propõe o estudo da resistência à flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET coletadas em domicílios nos bairros da cidade de Macapá e na Universidade do Estado do Amapá (UEAP), resíduo do beneficiamento do caulim proveniente da empresa Caulim e biomassa proveniente do

beneficiamento da madeira para a produção de um novo material que possa ser usado na construção civil como substituinte da madeira natural denominado de madeira plástica.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos

Após a produção ou utilização de qualquer material é gerado um resíduo. Dentre os resíduos, os sólidos, são muitas vezes chamados de lixo e são considerados por grande parte dos geradores como algo inútil, indesejável ou descartável; compõem os restos das atividades humanas. São classificados de acordo com sua origem, composição química, presença de toxicidade (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

Na Classificação quanto à origem, o lixo pode ser: domiciliar (se originado de residências), comercial (quando produzido em estabelecimentos comerciais e de serviços), público (no caso de ser proveniente dos serviços públicos), hospitalar (quando descartado em hospitais), industrial (se produzido em instalações industriais), agrícola (no caso de ser proveniente de atividades agrícolas) e entulho (em se tratando de resíduos originados da construção civil).

O lixo pode ser dividido em dois grupos quanto à composição química que são: orgânico (papel, jornal, revista, plástico, embalagem, borracha, pneus, luvas, remédios, restos de alimentos); e inorgânicos (metais, vidros, cerâmicas, pedras, areia) (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005). Quanto à presença de umidade ele pode ser seco (aparentemente sem umidade) e úmido (visivelmente molhado). Já quanto à toxicidade, ou seja, aos riscos potenciais para o meio ambiente, segundo a Norma NBR 10.004/2004, o resíduo sólido pode ser de classe I (perigosos, que podem ser inflamáveis, corrosivos, reativos, tóxicos e patogênicos) ou de classe II (não perigosos, subdivididos em classe II-A: não inertes e classe II-B: inertes) (ABNT NBR 10004, 2004; MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

Alguns materiais encontrados juntos com outros resíduos, como por exemplo, os urbanos, podem ser perigosos, logo devem ser segregados para uma destinação específica. Vejamos a FIGURA 1, a destinação final dos resíduos sólidos domiciliares ou públicos.

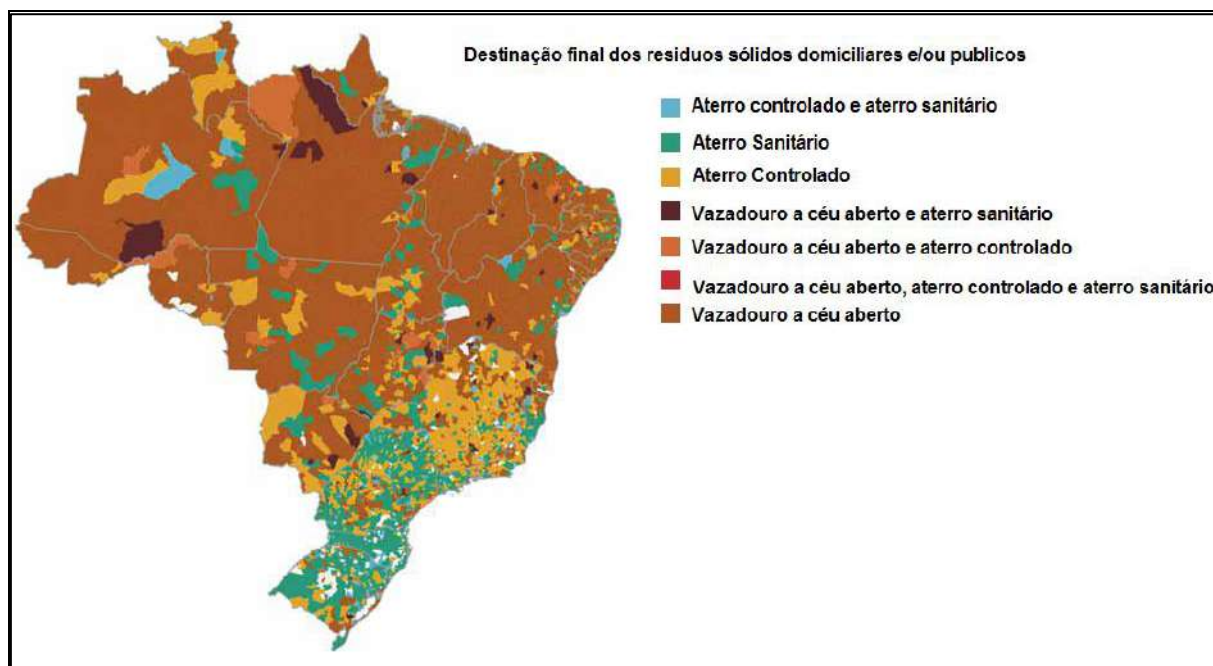


Figura 1 – Municípios, segundo a destinação final dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos – Brasil – 2008.

Fonte: IBGE, Diretoria de pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.

Quando o homem começou a acumular o lixo em um determinado local, iniciou-se um problema ambiental. Esta eliminação em locais afastados da população humana se deu devido a vários motivos como odor, aparecimento de aves e doenças.

Em 1928 se iniciou o primeiro serviço municipal de limpeza pública na cidade do Rio de Janeiro, até então capital do Brasil. Anteriormente este serviço era feito pelos negros escravos, que transportavam em barricas os lixos até a Baía de Guanabara (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

No Brasil são coletados 188.488,00 toneladas de resíduos sólidos domiciliares ou públicos diariamente, destas 440 toneladas são coletadas por dia no estado do Amapá de acordo com dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) feita no ano de 2008 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que representou um aumento de 26.660,9 toneladas a mais em relação ao ano de 2000, que mostra o cenário sendo agravando a cada dia, onde se deve dar a destinação adequada a estes resíduos de forma a não representarem risco para a saúde ou para o meio ambiente.

O problema do descarte de resíduos está diretamente relacionado ao aumento crescente de sua produção e a falta de locais adequados para a sua disposição. Uma alternativa para esses resíduos estaria na adoção da filosofia 3R que significa Reduzir,

Reutilizar e Reciclar (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005). Para se reduzir, deve-se estudar o redimensionamento de embalagens em relação à quantidade de material utilizado e a modificação da forma dos recipientes; para reutilizar, as embalagens teriam outras aplicações com outras funcionalidades para o ser humano, que seria uma forma de estender a vida útil do produto, por fim, na reciclagem, tenta-se num processo aproveitar a energia do material ou para transformá-lo em uma nova peça (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

Observando os dados da tabela abaixo percebe-se que o Brasil encontra-se em uma posição muito inferior, com praticamente 99% da disposição em aterros, que mesmo sendo melhor que a disposição aleatória dos resíduos em lixão, já é uma forma primitiva de se tratar resíduos.

Tabela 1 – Destino final de resíduos sólidos em alguns países do mundo.

Países	Incinerado (%)	Aterro (%)	Compostagem (%)	Reciclado (%)
Dinamarca	48	29	4	19
França	40	43	9	8
Holanda	35	45	5	15
Alemanha	34	46	3	17
Noruega	22	67	4	7
Reino Unido	8	90	-	2
Itália	16	74	7	3
Suécia	47	34	3	16
Suíça	59	12	7	22
Austrália	9	63	15	13
Estados Unidos	16	67	2	15
Japão	75	20	5	-
Brasil	0,1	99	0,9	-

Fonte: Reciclagem do Plástico. Como fazer da reciclagem um negócio lucrativo (PIVA, WIEBECK, 2004).

Para redimensionar estes dados, atualmente vem se criando políticas para diminuir a intensidade destes resíduos no meio ambiente, graças a Resolução nº 5 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 5 de agosto de 1993 que defini as normas mínimas para tratamento de resíduos sólidos oriundos de vários locais.

De acordo com a PNSB, realizada pelo IBGE no ano de 2008, eram coletadas um total de 41.909 toneladas de lixo domiciliar, diariamente, em todos os municípios brasileiros, atendendo uma população de aproximadamente 183 milhões de habitantes de acordo com o IBGE pela contagem da população em 2007. Representando assim uma expressiva quantidade de resíduos, onde deve ser dado um destino final mais adequado, levando-se em consideração a qualidade do meio ambiente e a saúde da população.

2.1.1. Polímero polietileno tereftalato e seus resíduos

Os polímeros conhecidos por grande parte da população como plásticos, tem sua palavra de origem grega onde poli (significa muitos) e mero (unidades de repetição), ou seja, é uma macromolécula, ligada por ligação covalente, composta por muitas unidades de repetição. Que ainda podem ser divididas em três grandes classes: Borrachas, Fibras e Plásticos (MANO, 2001, LUCAS et al, 2001, CANEVAROLO Jr., 2004, MARINHO, 2005, TAVARES, 2007).

As propriedades físicas dos polímeros são influenciadas, principalmente, pelo comprimento da molécula, pelo peso molecular e pela cristalinidade. Quanto maior a molécula e, conseqüentemente, o seu peso molecular, menor será a variação nas propriedades do material (CANEVAROLO Jr., 2004).

O polímero se forma quando um monômero (molécula simples que dá origem ao polímero), tem, no mínimo, funcionalidade 2; desta forma, o mesmo poderá reagir (polimerização) com mais dois monômeros e assim, formar a estrutura desejada (CANEVAROLO Jr., 2004; TAVARES, 2007).

Os polímeros podem apresentar as seguintes estruturas: linear, quando a cadeia não possui ramificações; ramificada, quando a cadeia possui segmentos, ou seja, ramificações da cadeia e reticulada, quando as cadeias estão unidas formando uma rede (MANO, 2001).

Dentre a gama de polímeros temos o polietileno tereftalato, PET, é um polímero sintético, termoplástico conhecido como plástico de engenharia, pertencente à família dos

poliésteres apresentando, na sua cadeia principal, o grupo éster conforme mostrado na figura 2 abaixo.

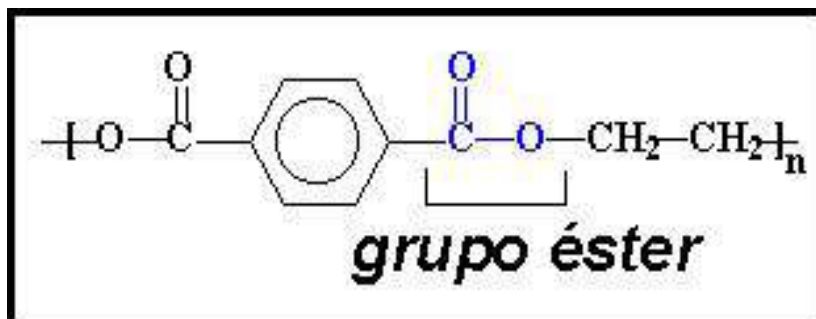


Figura 2 - Unidade repetitiva do PET, no detalhe o grupo funcional éster.

Fonte: (TAVARES, 2007).

O PET apresenta uma combinação única de propriedades tais como: boa transparência, alta resistência ao impacto, estabilidade dimensional ao calor excelente, propriedades elétricas e é auto-extinguível à chama (CANEVAROLO Jr., 2004).

Ele apresenta cadeia linear e heterogênea, tendo densidade entre 1,33 e 1,40 g/cm³. Apresenta um peso molecular variando entre 12000 e 40000, com uma viscosidade intrínseca $[\eta]$ em torno de 0,65dl/g. O PET utilizado na fabricação de embalagens sopradas (garrafas) deve ter peso molecular acima de 30000g/mol e $[\eta]$ superior a 0,74dl/g. Na produção de fibras industriais, a viscosidade intrínseca $[\eta]$ do PET deve ser aproximadamente, de 1,0dl/g (TAVARES, 2007).

O PET foi produzido, em 1941, pelos pesquisadores ingleses Whinfield e Dickson, e os trabalhos de desenvolvimento, em laboratórios dos EUA e da Europa, foram inicialmente direcionados para aplicações têxteis. A sua produção em larga escala ocorreu a partir dos anos 50 e, no início dos anos 70, o PET começou a ser utilizado pela indústria de embalagens, sendo, atualmente, conhecido mundialmente pela sua utilização na fabricação de garrafas de refrigerantes, Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2005). No Brasil, o PET surgiu em 1988 em utilizações semelhantes às do resto do mundo, primeiramente na indústria têxtil e, a partir de 1993, passou a ter forte expressão no mercado de embalagens. Atualmente, o principal mercado para o PET é o de garrafas para bebidas carbonatadas, pois o seu uso, em lugar do vidro, traz inúmeras vantagens, incluindo menor peso, maior resistência ao impacto e menor custo de

transporte. Possui aplicações altamente diversificadas, em face de apresentar cristalinidade variável e propriedades facilmente controladas pelos processos de fabricação (ABIPET, 2005).

Em 1977 na Pennsylvania ocorreu o primeiro processo de reciclagem de PET por uma empresa americana ST. Jude Polymers, onde se repeletizou a resina pós-consumo onde a empresa reciclava PET e polietileno de alta densidade (PEAD) (ABIPET, 2004).

Um ano depois do início da reciclagem do PET, uma empresa de fibras denominada de Wellman começou a utilizar o PET reciclado para produção de fibras para carpete. Já em 1993 a mesma lançou a primeira fibra feita de PET totalmente reciclado (ABIPET, 2004).

Dos Estados Unidos da América (E.U.A.) a ideia se repercutiu até a Ásia com sede em Taiwan, em 1990, onde dois fabricantes de têxteis locais (Faz Eastern Textiles e Shun Kong Group), construíram uma fábrica que reciclava cerca de 7.500 toneladas anuais de PET, produzindo 20.000 toneladas de fibras, (ABIPET, 2004; NAPCOR).

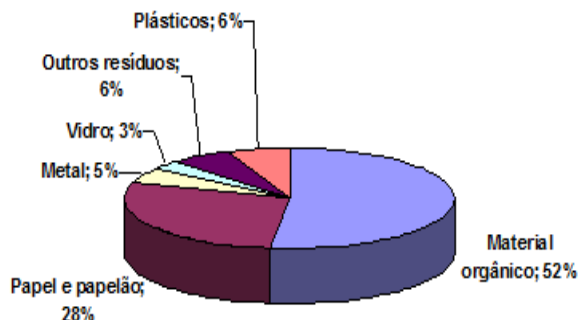
O Food and Drug Administration (FDA) divulgou em 1991 uma carta denominada de “não objeção”, que continha informações sobre a liberação do uso de PET reciclado em embalagens para alimentos em uma bandeja para frutas e vegetais. E após mais um ano o FDA emitiu outra carta de “não objeção” para o uso de PET reciclado em embalagens multicamada unido com o PET virgem na face em contato com os alimentos (ABIPET, 2004; NAPCOR).

Em 1993 as garrafas de refrigerantes multicamada receberam autorização. E logo após um ano o FDA autorizou a fabricação de garrafas de refrigerante feitas totalmente de PET reciclado (ABIPET, 2004; NAPCOR).

De acordo com a ABIPET a quantidade de PET reciclado no Brasil foi crescente e que apresentou no ano de 2009 uma taxa positiva de crescimento de 3,6% em relação ao ano anterior.

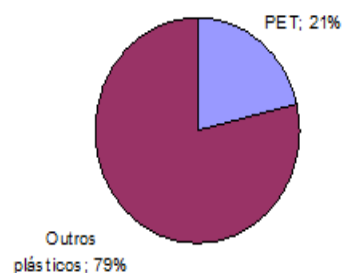
A figura 3 (a) e (b) mostram respectivamente a distribuição dos principais resíduos sólidos gerados no Brasil (onde os plásticos ocupam 6% da fatia), assim como o percentual de resíduo de PET gerado (responsável por 21%).

Distribuição percentual de resíduos sólidos no Brasil



(a)

Quantidade de resíduos do polímero termoplástico PET gerados no Brasil



(b)

FIGURA 3 - (a) Distribuição percentual de resíduos sólidos no Brasil. (b) Quantidade de resíduo polimérico termoplástico PET gerado no Brasil.

Fonte: (PIVA, WIEBECK, 2004).

Uma das vantagens de se reciclar o PET está na diferença de eficiência energética entre a produção a partir de matéria prima virgem e da recuperação do produto pós-consumo que chega a aproximadamente 20,75 vezes mais econômico se reciclar como mostrado na figura 4 (ABIPET, 2004-2005).

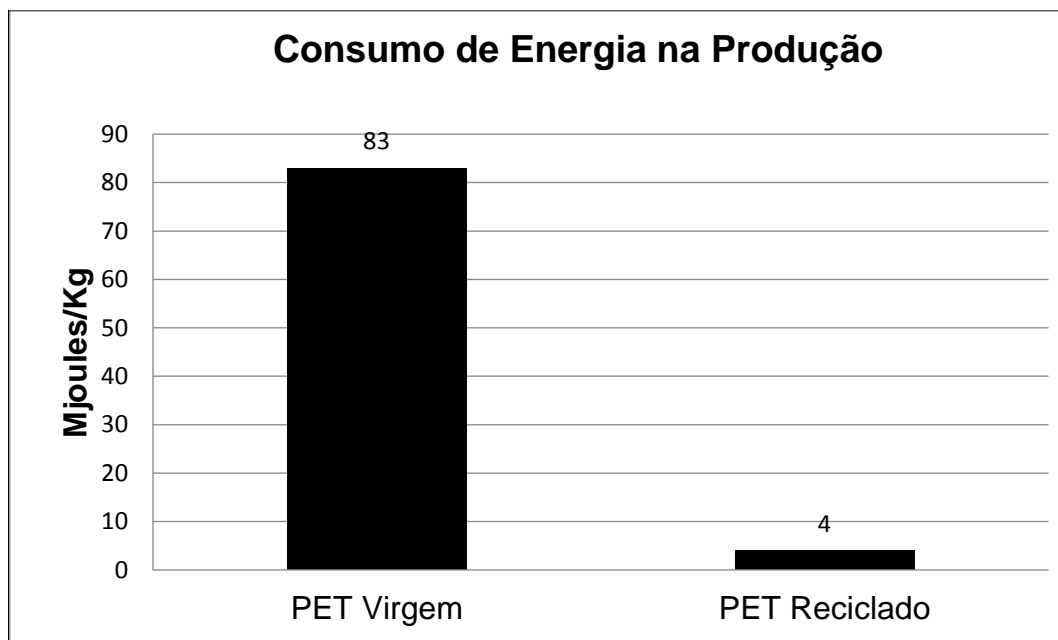


Figura 4 - Vantagens da reciclagem do PET

Fonte: APME – ABIPET (2004-2005)

Observando a figura 5, em algumas aplicações (principalmente na produção de garrafas para bebidas gaseificadas), vemos que países desenvolvidos possuem interesses significativos em reciclar o PET, pois é mais lucrativo do que a matéria prima virgem, como visto na figura anterior.

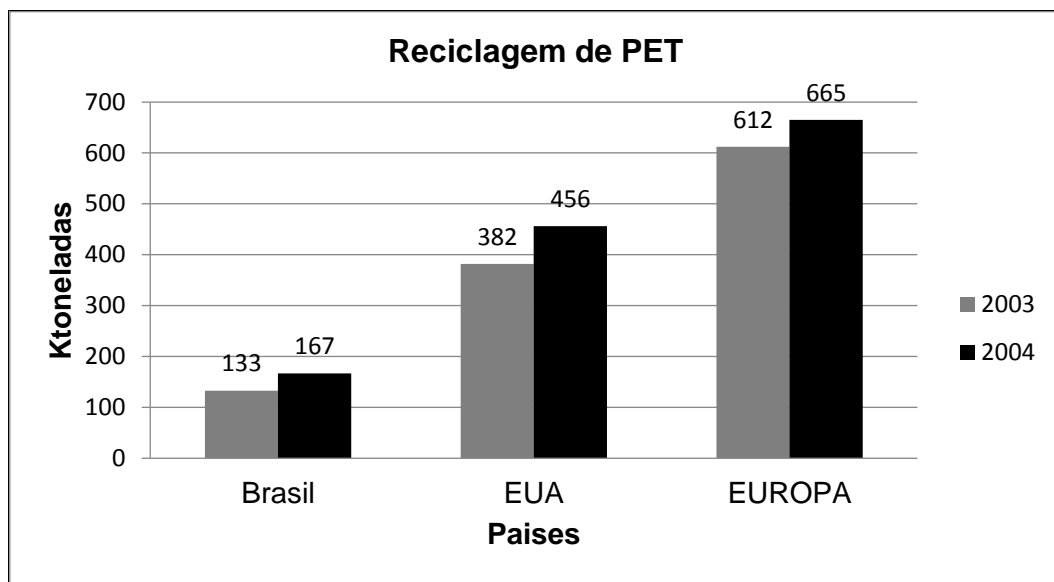


Figura 5 - Comparação entre países na reciclagem do PET

Fonte: (ABIPET, 2010).

Observando a evolução da reciclagem do PET no Brasil, vemos que sua taxa de recuperação é crescente, isso significa que menos resíduo estão sendo depositados em aterros espalhados pelo Brasil, gerando emprego e renda para grande parte da população. Na figura 4 veremos a evolução da recuperação de PET no BRASIL ao longo dos anos.

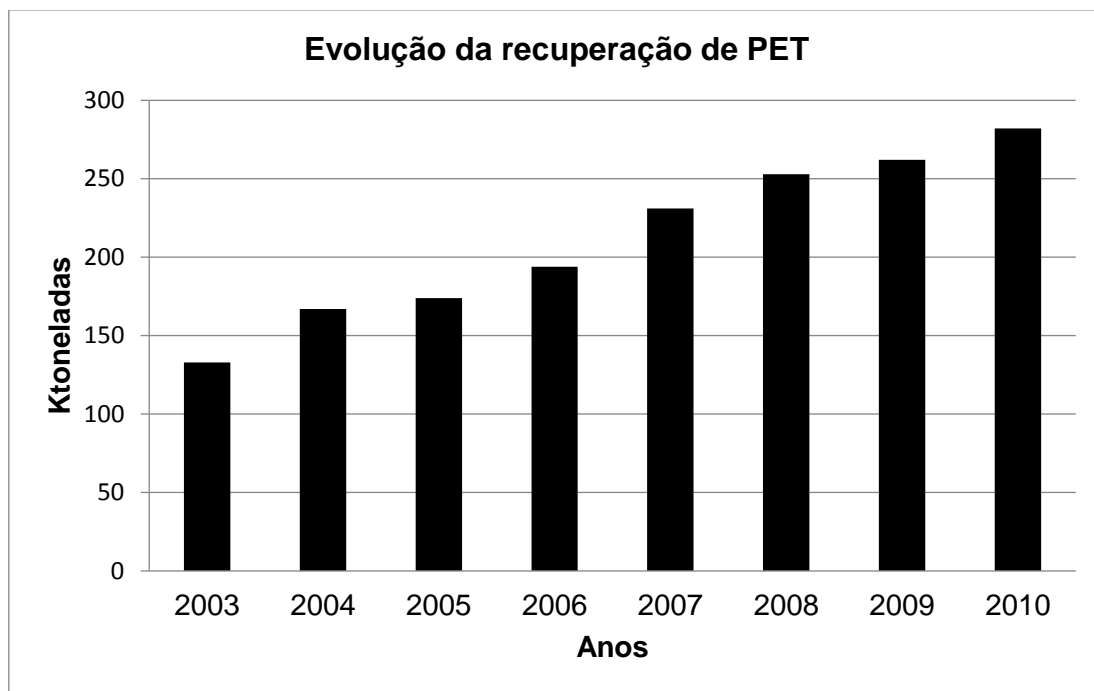


Figura 6 - Evolução da recuperação de PET no Brasil de 2003 a 2010.

Fonte: (ABIPET, 2010).

Para que esse PET pós-consumo chegue às empresas recicladoras existem grupos informais, como catadores, e formais que podem ser as cooperativas, empresas e outras organizações que possuem pessoa jurídica registrada (ABIPET, 2004; IBGE, 2000).

O PET reciclado é comprado por empresas aqui no Brasil para diversos usos finais, onde 65% são de origem flake, 10% de granulo e 25% de garrafas pós-consumo. Olhando-se a figura 7 abaixo, percebemos que a maior utilização deste material depois de reprocessado está em empresas Têxteis e em terceiro lugar em embalagens de alimentos e não alimentos (ABIPET, 2010).

Através de estudos científicos de viabilidade da utilização do PET reciclado a outras aplicabilidades, foi possível utiliza-los como, por exemplo, para embalar alimentos.

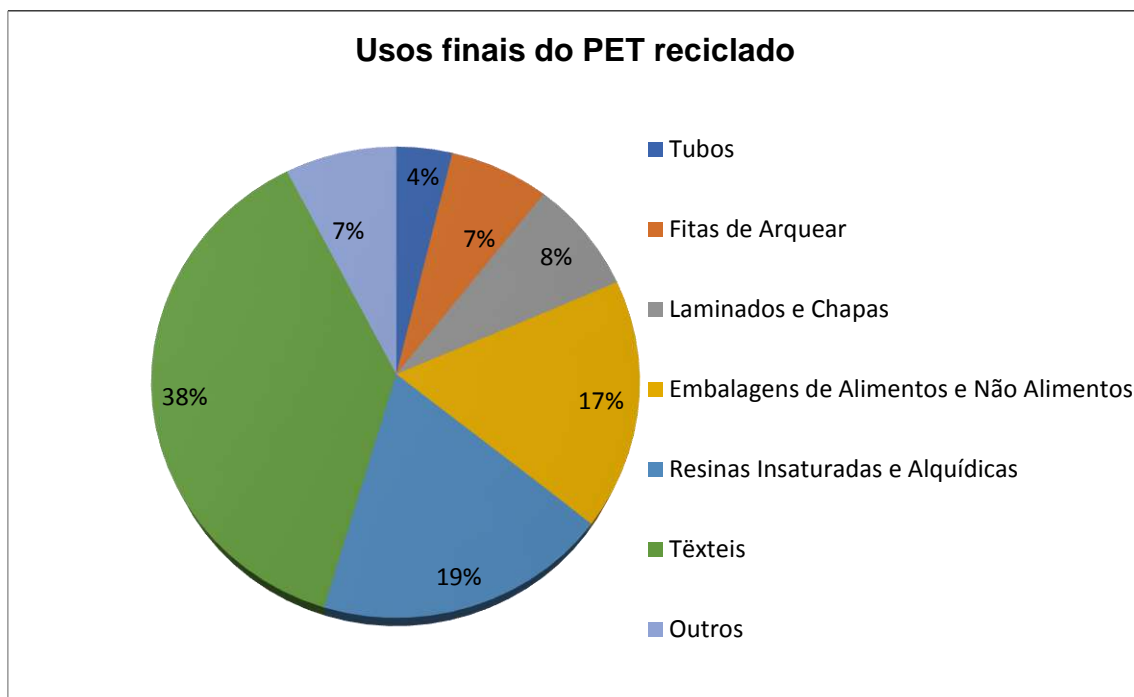


Figura 7 - Os usos finais do PET reciclado no Brasil.

Fonte: (ABIPET, 2010).

Segundo a ABIPET (2010), mesmo sabendo-se deste aumento da reciclagem, existe a necessidade de se ampliar a educação ambiental e os pontos de coleta, para atender as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Existem políticas hoje no Brasil que promovem a conscientização da reutilização e reciclagem, mostrando a sua importância, como é o caso da ABIPET que promoveu uma das iniciativas, a partir do resultado de seu censo de 2009, como a do Leve seu PET (LevPET). O projeto realizou um levantamento de locais onde as pessoas podem entregar PET's no país, como cooperativas, Pontos de Entrega Voluntária e postos de coleta (PEVs) em Organizações Não-Governamentais (ONGs). Os dados são georreferenciados com o apoio da ferramenta do Google Maps.

2.1.2. Resíduos da produção da celulose (biomassa)

Recursos biologicamente renováveis, originados de material vegetal, passível a varias transformações em energia útil como eletricidade, força motriz e calor. Enfim, os recursos de origem diversificada como as provenientes de resíduos industriais e agrícolas, sobras de madeira de atividades florestais, resquícios de plantações, plantas com elevado

poder energético como a cana de açúcar, plantas oleaginosas, etc. são denominados como biomassa. Essas matérias podem não ser suficientes para manter uma operação constante e sua existência pode ser afetada por eventos naturais como o clima e as pragas. Aproximadamente 10% da energia produzida em 2002 no Brasil é proveniente da biomassa; já é a terceira principal fonte de energia no país, ficando após do petróleo e da energia hidrelétrica (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005; CALLISTER Jr, 2002).

Pode-se transformar a biomassa em bioenergia, para isso, dependerá do tipo de processo tecnológico que será utilizado como, por exemplo: gaseificação, fermentação, combustão, etc, (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005; CALLISTER JR, 2002). Por exemplo, através da combustão da biomassa em fornos ou em caldeiras se gerará energia térmica, o calor, que pode ser transformado em energia elétrica. A fermentação consiste na desintegração da biomassa com a ajuda de bactérias, formando uma mistura de gases metanos com dióxido de carbono; esse gás gerado é utilizado para produzir eletricidade (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

A biomassa de madeira é utilizada para fabricação de briquetes, quando compactadas por pressão. Quando submetida a altas pressões, entra em processo de briquetagem onde ocorre a plastificação da lignina, com o aumento da temperatura, a macromolécula natural aglomera as partículas da madeira. Que acaba sendo um material de elevado valor comercial, pois sua densidade é elevada, facilitando o transporte, diminuindo custos como os de armazenamento (MANO, PACHECO, BONELLI, 2005).

No estado do Amapá, muitas empresas utilizam a madeira para diversas finalidades como para produção de cavacos, taboa, viga, dormente, sarrafo, até outras aplicações mais tecnológicas como mesas, cadeiras, armários, etc. totalizando cerca de 79.000m³/ano de madeira serrada, moveis e produtos de maior valor agregado e de 1.000.000 Toneladas/ano de cavacos com principais produtos Pinus e eucaliptos (IEPA, 2009).

Problemas como necessidade de grandes áreas para armazenar a serragem de madeira como pode ser visto na figura 8 onde são encontrados frequentemente em muitas empresas de moveis, devido a grande eliminação de serra durante a preparação da superfície da madeira para recebimento de acabamento do produto, seja, armários, cadeiras, camas, mesas, entre outros.



Figura 8 - Serragem de madeira após passar por moinho de facas.

Fonte: (Autor, 2011).

Um exemplo de empresa que possui necessidade de grandes áreas para armazenar a serragem de madeira, que é um resíduo proveniente do beneficiamento de madeira, é a AMCEL, que situada no estado do Amapá, exporta cavacos de madeira. Ela responde pelo gerenciamento e controle da conversão e comercialização de cavacos de madeira e biomassa. As exportações da AMCEL tiveram início em 1993, com cavacos de pinus (AMCEL, 2005).

A produção anual da AMCEL em 2005 era aproximadamente mais de 1 milhão de toneladas, é destinada aos EUA, Japão e Europa. A fábrica produz cavacos de eucalipto e pinus para fabricação de celulose e chapas, e biomassa (AMCEL, 2005).

De acordo com a AMCEL a biomassa é produzida a partir de cascas provenientes do descascamento das toras de pinus e de eucalipto e, também, de cavacos fora de especificação. É utilizada como combustível em caldeiras, para a produção de energia elétrica ou vapor, no mercado doméstico e de exportação (AMCEL, 2005).

2.1.3. Resíduos de caulim

Este resíduo mineral é o resíduo do beneficiamento de caulim (RBC), também denominado como resíduo caulínico, material constituído principalmente do argilomineral caulinita. Este material possui diversas aplicações, tais como: na construção civil, na indústria cimentícia, de refratários, tintas, pesticidas, cerâmicos, entre outros (BARATA, MOLIN, 2002).

As aplicações do caulim se dão em função de suas características tecnológicas de suas propriedades físico-químicas (DA LUZ & DAMASCENO 1993; DA LUZ, 2003).

Segundo DA LUZ (2003) “A rigidez nas especificações dos caulins depende do uso a que se destinam”.

Em setores industriais como o papel que consome cerca 47% da produção mundial, sendo 33% para revestimento ou cobertura e 14% para carga. No estado do Amapá, a empresa CADAM, beneficia caulim, produzindo um resíduo não tóxico, possuindo 26% de quartzo, que são dispostas em lagoas para sedimentação do resíduo, como pode ser observada na figura 9, que se tornam onerosas, pois necessitam de grandes áreas para a sua construção (BARATA, MOLIN, 2002).



Figura 9 – Deposição dos resíduos caulínicos em lagoas de sedimentação.

Fonte: (BARATA, 1998).

Na região Amazônica existem muitas empresas espalhadas, ver figura 10, que beneficiam o caulim, que possuem lagoas para sedimentação como mostradas na figura a cima, e possuem perspectivas de crescimento muito grande para a produção de caulim a cada ano (BRASIL, 2000).

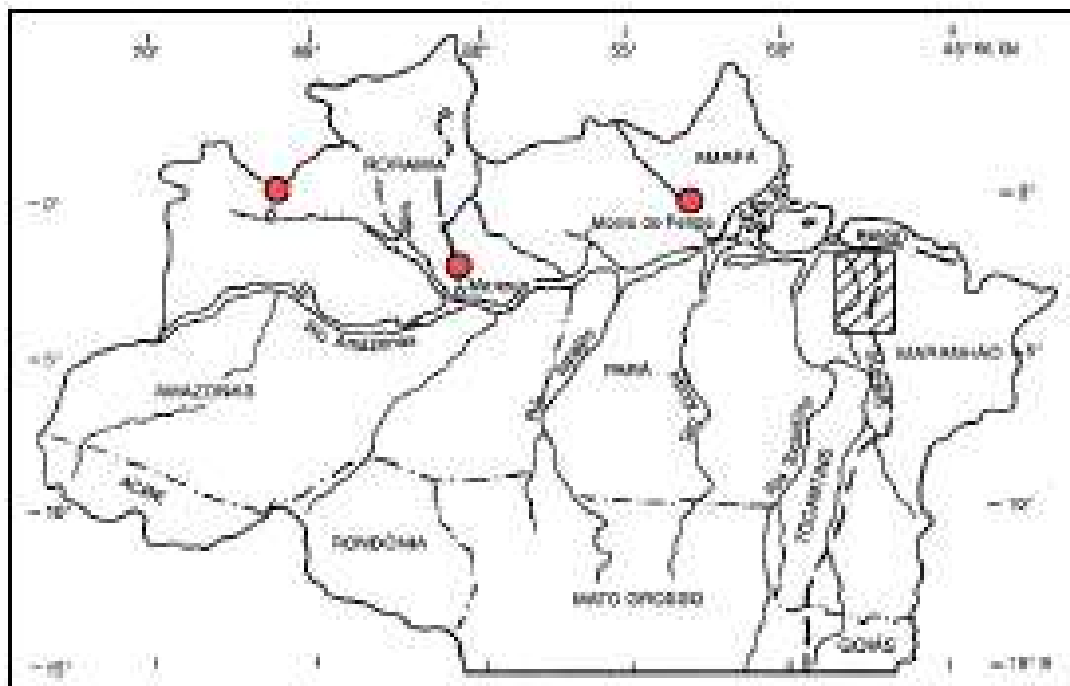


Figura 10 - Localização das jazidas de caulim da Amazônia.

Fonte: BARATA, 1998.

Uma aplicação do caulim, seu resíduo, estaria na sua adição em compósitos de madeira plástica, com o objetivo de se elevar a rigidez e a resistência ao atrito do material. Um exemplo típico é o caulim que é misturado em borrachas, e outros polímeros, acarretando no melhoramento de algumas propriedades mecânicas (SANTOS, 1992; WIEBECK, HARADA, 2005).

2.2. Compósitos: a madeira plástica

O Amapá, não diferente dos demais estados do Brasil, se depara com problemáticas decorrentes da formação de resíduos. Resíduos que podem causar poluição, ocupação de áreas, problemas de saúde em geral, entre outros. Uma alternativa interessante que tem sido tomada para a minimização destes resíduos é o

reaproveitamento dos mesmos, combinando-os de modo a obter um único material, o que chamamos de compósitos.

Os materiais compósitos são definidos como materiais que possuem dois ou mais materiais (multifásicos), com propriedades distintas, de maneira a obter um novo material com propriedades que não possam ser obtidas de nenhum outro modo procurando obter uma ótima adesão entre as fases (CALLISTER JR, 2002; ASKELAND, PHULÉ, 2008). Nos compósitos a fase em maior proporção é denominada matriz, que é contínua e circunda a outra fase chamada de disperso. As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa. A “Geometria da fase dispersa” neste contexto significa a forma e o tamanho das partículas, além da sua distribuição e orientação (CALLISTER JR, 2002).

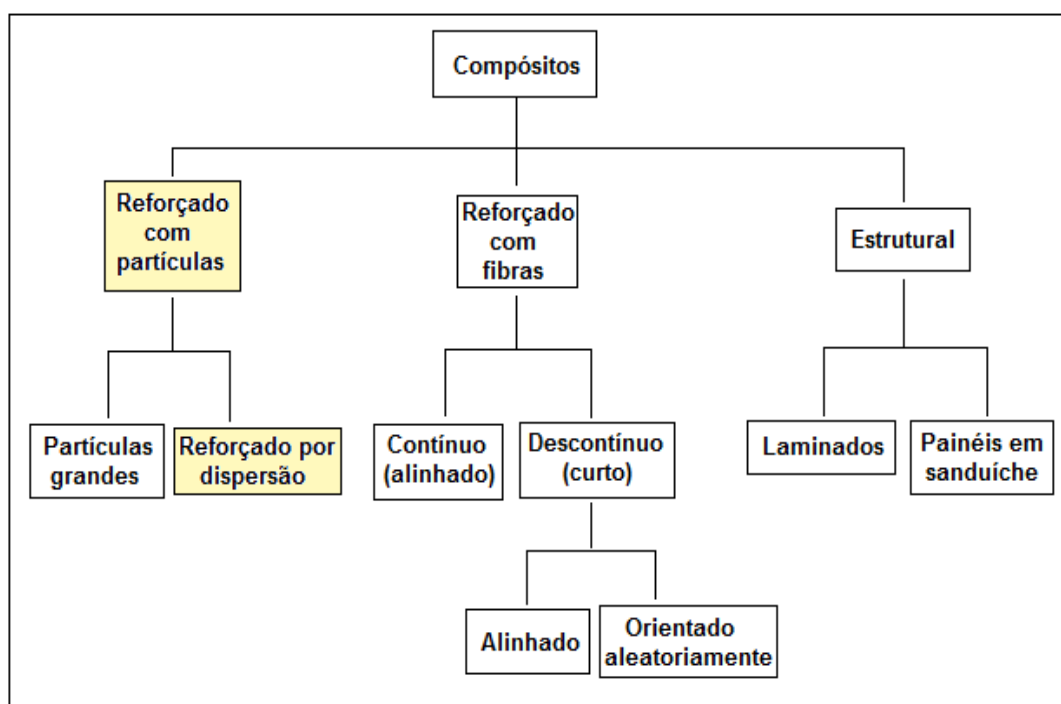


Figura 11 – Classificação dos vários tipos de compósito em função da fase dispersa

Fonte: (CALLISTER, JR, 2002).

Dentro do contexto de compósito, vem tornando-se comum adicionar fibras vegetais para o reforço de termoplásticos, desenvolvendo os chamados de “compósito de madeira plástica” ou em língua de origem inglesa *Wood Plastic Composite* (WPC) (BORNELLI et al, 2005; YAMAJI, BONDUELLE, 2004; CORREA et al, 2003). Este

material alternativo vem sendo utilizado na construção civil, substituindo a madeira comum, como pode ser observado na figura 12 (a) e (b).

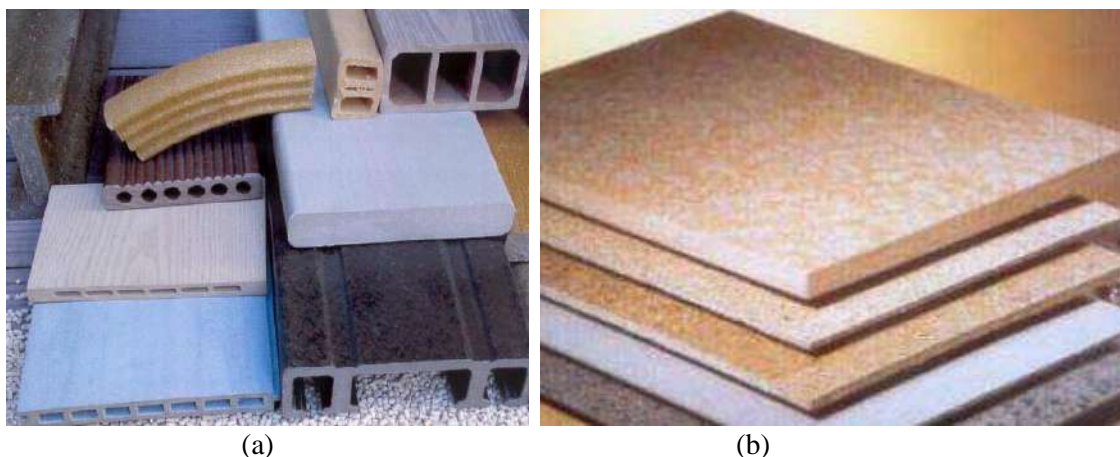


Figura 12 – (a) Painéis estruturais reforçado por madeira. (b) painéis de plástico reforçado com madeira

Fonte: (CATÁLOGOS DA PALLMANN, 2010).

Da mesma forma, que fibras vegetais podem ser incorporadas em matriz polimérica, materiais cerâmicos também podem ser adicionados, com o objetivo de se elevar a rigidez e a resistência ao atrito do material. Essa adição pode ser por material orgânico, inorgânico ou misto. Um exemplo típico é o caulim (silicato de alumínio hidratado, $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) que é misturado em borrachas, e outros polímeros, acarretando no melhoramento de algumas propriedades mecânicas (KLYOSOV, 2007; SANTOS, 1992; WIEBECK, HARADA, 2005).

As cargas minerais como (negro de carbono, dióxido de titânio, oxido de zinco) podem diminuir a viscosidade do plástico derretido e acabar proporcionando uma distribuição uniforme de estresse no material, enquanto que partículas cúbicas de hidróxido de cálcio proporcionam um bom reforço ao compósito. Os grãos de (caulim, mica, talco) facilitam a orientação dos plásticos (KLYOSOV, 2007).

A distribuição granulométrica das partículas pelo compósito pode ser monodispersa, ou seja, possui o mesmo tamanho por toda a extensão ou ter distribuição de tamanhos de largura, altura, bimodal, distintos. Uma mistura de partículas de diferentes tamanhos é uma distribuição irregular. Ela depende da tecnologia de fresage e de classificação (screening) de partículas de um mineral, pois poderá fornecer a densidade

mais adequada de empacotamento de partículas na matriz. Distribuição do tamanho das partículas ao longo do compósito é importante, pois pode afetar a viscosidade do material (KLYOSOV, 2007).

Os poros abertos pode proporcionar adesão à área com o plástico derretido e uma interação física após sua solidificação com o meio. Contudo a umidade, que é a capacidade de absorver água, aliada aos poros estão ligados diretamente de uma forma com higroscopicidade (KLYOSOV, 2007).

O alto teor de umidade pode levar a formação de vapor no curso de composição e de extrusão, o que pode resultar em uma alta porosidade (e de baixa densidade) no fim da extrusão do material. Este por sua vez, diminui a força e rigidez, aumentando a taxa de oxidação durante o serviço, diminuindo a durabilidade do mesmo. O Baixo teor de umidade é observado em carbonato de cálcio (0,01 a 0,05%), talco e trihidrato de alumínio, mica (0,1 a 0,06%). Médio teor de umidade em hidróxido de titânio (1,5%), argila (3%), caulim (1 a 2%). Alto teor de umidade em fibra de celulose (5 a 10%) (KLYOSOV, 2007).

A madeira plástica por ser composta de matriz polimérica pode sofrer alterações de suas propriedades quando exposta a agente de degradação. O intemperismo, um dos tipos de degradação, que pode afetar nas propriedades destes materiais, ocorre com a ação conjunta de agente naturais de degradação: chuva, vento, calor, umidade, etc., Como podem ser visto em alguns trabalhos, por exemplo, o intemperismo pode ser notado com o surgimento de pequenas colônias de fungos na superfície do material e mudanças de cor (GRIGUL et al, 2009). Esta degradação está associada a mudanças que ocorrem nas propriedades desses materiais causadas, normalmente, por reações químicas que produzem cisões da cadeia macromolecular dos mesmos. Essas reações podem ser iniciadas pela presença de diversos agentes ambientais, podendo ocorrer no processamento, na estocagem, sua utilização etc. Os tipos de degradação podem ser classificados de acordo com o agente responsável pela modificação do polímero conforme apresentado na Tabela 2 (MANO et al, 2005).

Tabela 2 - Tipos de degradação em polímeros

Tipo de degradação	Agente	Exemplos
Fotodegradação	Radiação luminosa	Luz solar (UV próximo e visível)
Termodegradação	Calor	Sol, vulcões
Degradação química	Ar (oxidação)	Atmosfera, ventos
	Água (hidrólise)	Chuva, mares, rios
	Produtos químicos	Ácidos, bases, solventes
Biodegradação	Microrganismos (enzimas)	Bactérias e fungos
	Seres inferiores	Insetos e roedores
	Seres superiores	Seres humanos
Degradação mecânica	Forças de cisalhamento	Processamento de plásticos
	Usinagem	
Radiações ionizantes (alta energia)	Radiação corpuscular	Nêutrons, elétrons, produtos de fissão nuclear
	Radiação eletromagnética	Raios X, raios gama

Fonte: MANO et al, 2005.

2.2.1. Resistência à flexão de compósitos do tipo madeira plástica

Resistência à flexão é uma preocupação primordial como critério de aceitação de utilização do material, submetido não só a temperatura ambiente, mas também em diferentes temperaturas e antes e depois do intemperismo. Ao mesmo tempo, os métodos para a determinação do módulo de resistência mecânica a flexão em três pontos de materiais em geral e materiais compósitos em particular, são bastante complicados e podem levar a desvios brutos de valores corretos. No entanto, valores corretos também dependem das definições básicas e interpretações de dados experimentais. Comportamento visco elástico de materiais plásticos e plástico baseado em materiais compósitos bem como uma não uniformidade de certas matrizes de materiais compósitos levam a mais complicações às medições e interpretações dos valores experimentais de valores de módulos de resistência (KLYOSOV, 2007).

Em testes de flexão, a deformação da amostra é medida no centro da amostra. Quando uma carga é colocada, resulta no estresse do material. O estresse é a resistência interna à força aplicada. Já a tensão é a quantidade de deformação causada por esse estresse, tais como flexão em compressão (KLYOSOV, 2007).

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga que aumenta ao longo do tempo em determinados pontos de uma barra geometricamente padronizada. A carga que é aplicada parte de um valor inicial igual a zero e cresce lentamente até a ruptura do material ou corpo de prova. Este ensaio é aplicado em materiais frágeis como aço ferramenta, aço rápido, cerâmicos e metais duros, pois indica numericamente a deformação do material (KLYOSOV, 2007).

Os ensaios de flexão podem ser de três pontos, utilizado como norma a American Society for Testing and Materials (ASTM) D 790 do ano de 1993, ou quatro pontos e sua diferença está na aplicação de carga no centro da distância entre os apoios, em três pontos, e na aplicação de carga em dois pontos equidistante dos apoios, para quatro pontos (DALCIN, 2007).

A ASTM D 790 mede a força que é capaz de envergar um corpo de prova (CP), obtendo-se assim o módulo de flexão que indica a rigidez do material. Para se medir do CP, utiliza-se um dispositivo de carga de 3 pontos, destes 2 são apoios e um ponto central de aplicação da força, como mostrado na figura 13.

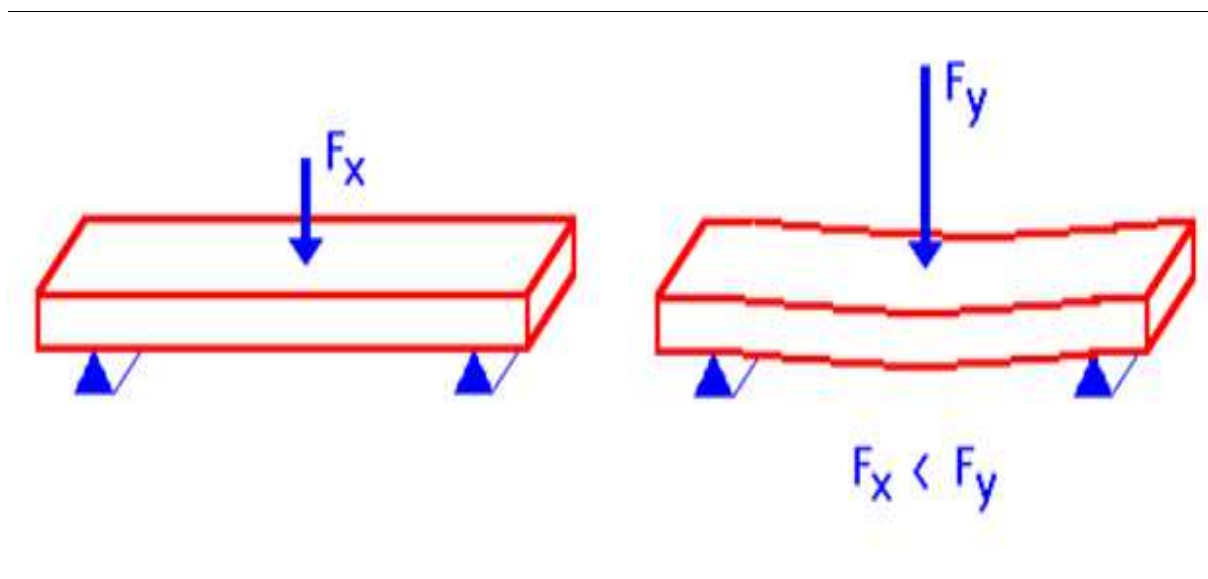


Figura 13- Procedimento de teste de resistência a flexão utilizando ASTM D 790.

Fonte: (IPIRANGA PETROQUÍMICA, 2004).

O CP para realização do ensaio mecânico é geralmente obtido por moldagem por compressão, ver figura abaixo.

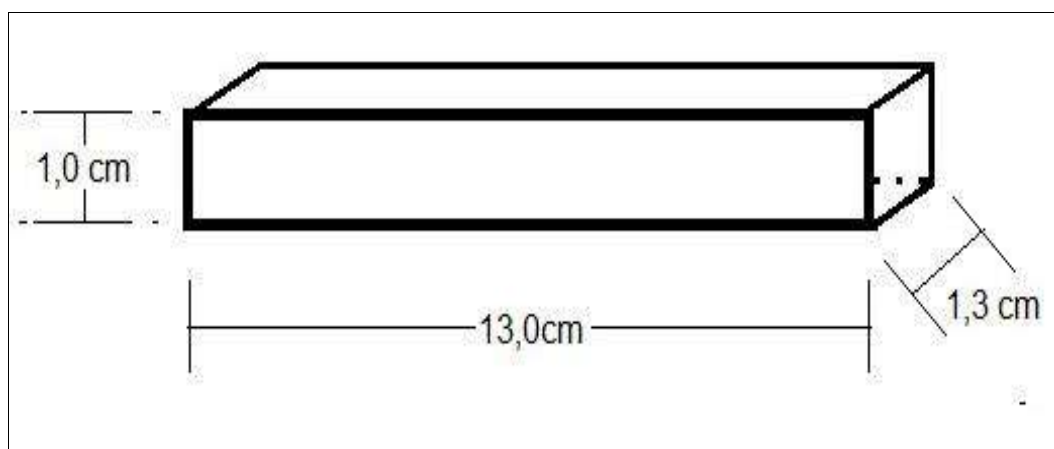


Figura 14 - Configuração do corpo de prova de flexão em três pontos.
Fonte: (Autor, 2011).

Após o ensaio são obtidos o módulo de ruptura na flexão, módulo de elasticidade, módulo de resiliência e módulo de tenacidade (DALCIN, 2007; KLYOSOV, 2007).

Fatores como a temperatura, a velocidade de aplicação de carga e os defeitos dos corpos de prova como os superficiais, durante o ensaio, podem variar o resultado dos dados (DALCIN, 2007; KLYOSOV, 2007).

De acordo com Crain Clemons, junho de 2002, a madeira plástica processada com polipropileno com 40 % de serra de madeira apresenta 44,2 MPa de resistência já quando substituída a serra da madeira pela fibra da madeira a resistência obtida foi de 47.9 MPa, ou seja, um acréscimo na resistência do material. Não foram encontrados dados referências para a madeira plástica com PET.

3. OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento mecânico por análise de resistência à flexão em três pontos no compósito de madeira plástica processada a partir de matérias primas como garrafas PET descartadas, resíduo do beneficiamento de cavacos de madeira, a Biomassa, e resíduo do beneficiamento de caulim, que possa a vir substituir a madeira natural.

3.1. Objetivos específicos

- a) Analisar o comportamento mecânico através do ensaio de resistência a flexão em três pontos do corpo de prova - CP constituído por compósito de madeira plástica processada via reciclagem dos resíduos de garrafas PET e biomassa com três tipos de granulometria distintas, tratadas e não tratadas com NaOH a uma concentração de 10% (m/v) e comparar com o comportamento mecânico do corpo de prova constituído somente de PET para controle.
- b) Analisar o desempenho mecânico por meio do ensaio de resistência a flexão em três pontos dos CP's de compósito de madeira plástica constituído por PET e biomassa, com adição do resíduo de beneficiamento do caulim.
- c) Avaliar macroscopicamente a textura fractográfica dos CP's.

4. METODOLOGIA

4.1. Tratamento das amostras para a conformação

4.1.1. Garrafas PET usadas

As amostras de PET foram obtidas na forma de garrafas plásticas pós-consumo. Estas garrafas foram lavadas com água, secas ao ar e moídas manualmente em chapas de 4x4cm. Em sequência o material foi levado para estufa (ver figura 15a), onde foi seco a 70°C. Após 24 horas de secagem, a amostra triturada foi disposta em formas de aço para aquecimento no forno mufla (ver figura 15b), a 270°C. Encontrando-se o material no estado viscoso, o mesmo foi retirado e resfriado a temperatura ambiente até solidificação e formação de um bloco de PET. Depois o bloco foi britado manualmente, obtendo-se britas de 3 a 4 cm. Por fim, passou-se a brita em moinho de martelo (ver figura 15c) e de facas (ver figura 15d), finalizando com a classificação granulométrica em peneira de TYLER 35 para obtenção de areia de PET (ver figura 15e).

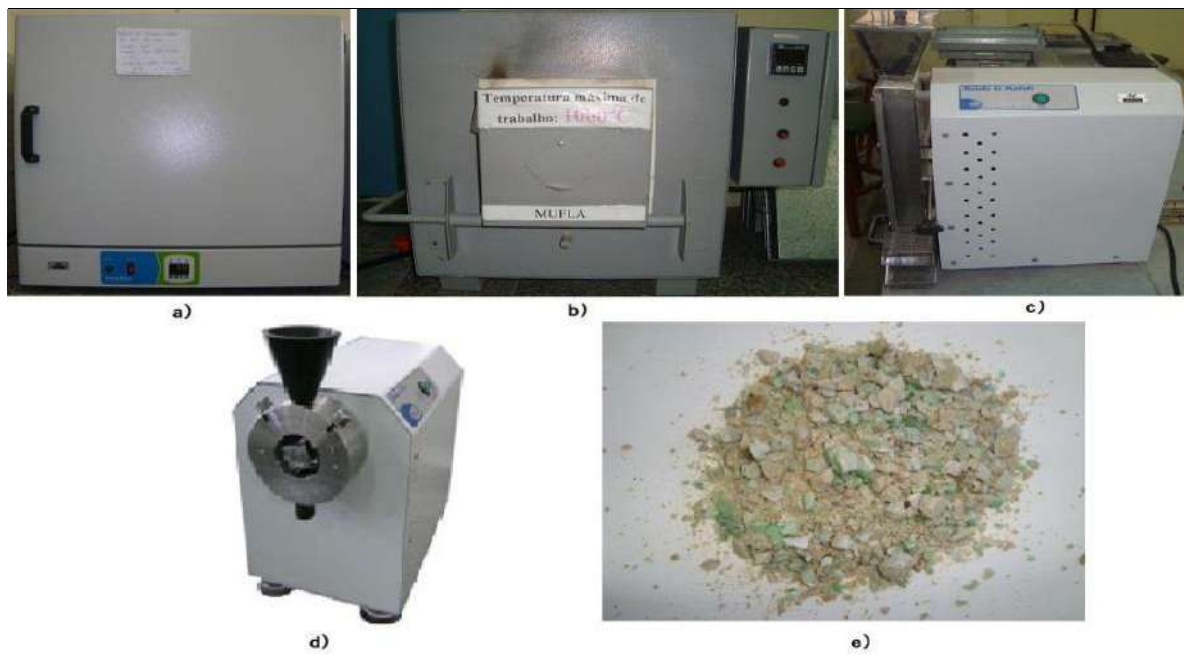


Figura 15 – a) Estufa: Solotest, modelo EEL 81 08 B 11. b) Forno Mufla: Indústrias Furnus Magnus. c) Moíno de martelo: Solab, modelo SL-034. d) Moíno de facas modelo SL 33: e) Areia de PET.

Fonte: (Autor, 2011).

4.1.2. Biomassa proveniente da madeira

A preparação das amostras de madeira (mistura de resíduo do beneficiamento do cavaco de Pinho e Eucalipto de empresa de celulose seguiu a metodologia do trabalho de Santos et al (2009), usando os mesmos equipamentos descritos nas figuras 15. A serra de madeira passou por secagem na estufa (ver figura 15^a), a $\pm 80^{\circ}\text{C}$ e depois moída no moinho de facas. Com ajuda das peneiras (série TYLER 35, 14 e 8), obteve-se 3 (três) diferentes granulometrias de pó. Parte do pó de madeira de cada granulometria foi tratado com solução 10% m/v de NaOH por 30 min, temperatura ambiente, seguido por lavagem com água destilada até obtenção de PH neutro. Por fim o material retornou para estufa $\pm 80^{\circ}\text{C}$ por 2 horas. As figuras das amostras tratadas e não tratadas são mostradas na figura 16.



Figura 16 – a) Composição C – 35 – T, b) composição C – 35 – NT, c) composição C – 14 – T, d) composição C – 14 - NT, e) composição C – 8 – T, f) composição C – 8 – NT, g) Amostras de pó madeira tratada e não tratada.

4.1.3. Resíduo do beneficiamento do caulim

O resíduo de caulim foi recebido pela empresa de caulim com a umidade elevada, na forma de uma pasta homogênea, fora seco em estufa a $\pm 120^{\circ}\text{C}$ por 24 horas (ver figura 15.a), e depois moído em moinhos de facas (ver figura 15c), até obtenção de um pó com granulometria igual ou inferior a abertura de $425\ \mu\text{m}$ (usando-se uma peneira de TYLER 35).

4.2. Conformação dos corpos de prova

Para estudo foram preparados 10 corpos de prova para cada composição, conforme a metodologia de conformação será explicada a seguir.

4.2.1. De serra de madeira com PET

Estando as matérias primas preparadas foram separadas as composições de acordo com a tabela 3.

O percentual de madeira em relação ao polímero foi invariável, com respectivamente 95% e 5% de pó de PET e madeira. Estes valores foram baseados nos trabalhos de (BORNELLI et al, 2005; YAMAJI, BONDUELLE, 2004; CORREA et al, 2003; LUZ et al, 2006), que mostram a inviabilidade do uso de serragem a teores muito elevados na matriz polimérica. Para comparação do efeito da adição dos resíduos, foi preparado dez CP's de PET sem adição, como controle.

Tabela 3 – Distribuição granulométrica de serragem de madeira tratada e não tratada com NaOH.

Granulometria (Tyler)	Serragem tratada	Serragem não tratada
	Composição	Composição
35	C-35-T	C-35-NT
14	C-14-T	C-14-NT
8	C-8-T	C-8-NT

Fonte: (Autor, 2011).

Na preparação do compósito, tendo todos os materiais secos, o PET foi levado ao forno mufla (ver figura 15b) a $\pm 270^{\circ}\text{C}$ em uma forma de aço comum. Estando o polímero no estado fluido (decorridos ± 15 minutos no forno), o material foi retirado do forno e misturado manualmente (com ajuda de uma espátula), com a madeira em pó. Estando misturado e ainda viscoso entornou-se o fluido no molde de aço para obtenção do CP de madeira plástica. Os corpos de prova foram conformados sob uma compressão de $\pm 20\text{kN}$, usando-se para isso uma prensa manual hidráulica de marca Tecnal de 16 toneladas. Em sequência o CP foi desmoldado, ver figura 17.



Figura 17 – CP's conformados, onde: a) é o CP de PET sem adição de resíduo, b) composição C-35-t, c) composição C-35-NT, d) composição C-14-T, e) composição C-14-NT, f) composição C-8-T e g) C-8-NT.

4.2.2. De serra de madeira, PET e com adição de caulim

A mistura de PET com madeira foi invariável (5% de madeira para 95% de PET). Já a adição de caulim foi realizada nos teores de 0, 10, 20, 30, 40 e 50% em função da mistura PET com madeira, ver tabela 4.

Tabela 4 – Quantidades percentuais do compósito de madeira plástica com adição de caulim.

Composição	Percentual invariável da mistura madeira com PET	Percentual de pó de caulim + Percentual invariável da mistura madeira com PET
A1	5% + 95%	0% + 100%
A2	5% + 95%	10% + 90%
A3	5% + 95%	20% + 80%
A4	5% + 95%	30% + 70%
A5	5% + 95%	40% + 60%
A6	5% + 95%	50% + 50%

Fonte: (Autor, 2011).

Na preparação do compósito, tendo todos os materiais secos, o caulim foi adicionado ao PET e levado ao forno a 270°C (ver figura 15b). Estando o polímero no estado fluido (decorridos ± 15 minutos no forno a 270°C) o material foi retirado e misturado manualmente com ajuda de uma espátula. O plástico misturado com caulim retornou ao forno a 270°C, para novamente obter maior fluidez. Estando a mistura fluida e facilmente trabalhável, retirou-se a mesma do forno e adicionou a madeira em pó, misturando-se rapidamente e entornando-se o compósito no molde de aço para obtenção do CP de madeira plástica. Os corpos de prova foram conformados sob uma compressão de ± 20 kN, usando-se para isso uma prensa manual hidráulica de marca tecnal de 16 toneladas. Em sequência o material foi desmoldado, ver figura 18. A composição A6 foi descartada por ser inviável a operação de mistura da quantidade de caulim com o PET (ver figura 19).

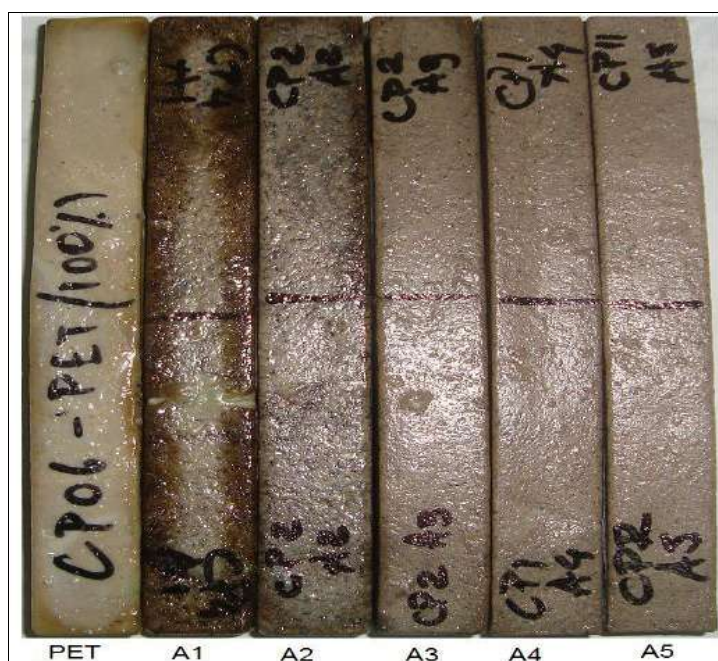


Figura 18 – CP`s conformados, onde: PET é o CP sem adição de resíduo e A1, A2, A3, A4 e A5, são os CP`s referentes a cada composição da Tabela 4.

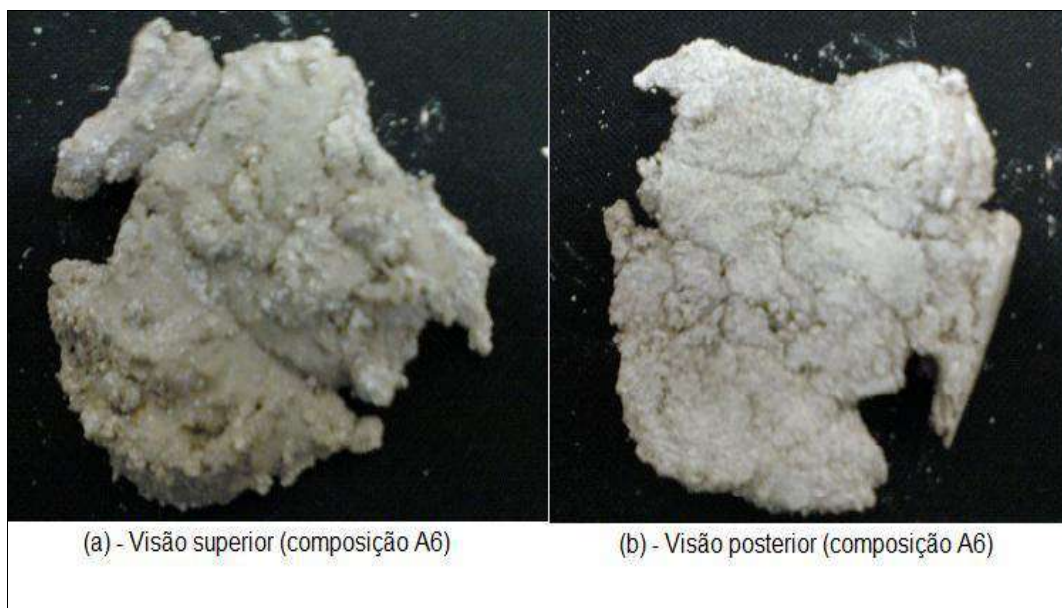


Figura 19 – (a) inviável mistura da composição A6 (visão superior); (b) inviável mistura da composição A6 (visão posterior).

4.3. Ensaios mecânicos

Com os CP's conformados foi realizado o ensaio de resistência a flexão (RF), em três pontos de acordo com a norma ASTM D 790, que dita um ensaio de flexão de 5 mm/minuto, ver figura 20, em uma máquina universal de ensaios mecânicos da fabricante EMIC de modelo DL 30000 com capacidade máxima de 300KN de força. A distância entre os dois apoios usados conforme a norma foi de 9 cm.



Figura 20 - Ensaio de resistência à flexão em três pontos.

5. RESULTADOS

5.1. Compósito de madeira plástica processada sem adição de caulim

Os valores médios do ensaio de RF dos CP's sem adição de caulim são mostrados, respectivamente, na tabela 5 e na figura 21. Para controle foram confeccionados amostras de PET sem adição.

Tabela 5 – Valores médios do ensaio de resistência à flexão.

PET + Madeira	
Composição	Resistência a Flexão (MPa)
C-35-T	6,935
C-35-NT	7,070
C-14-T	5,005
C-14-NT	5,015
C-8-T	7,150
C-8-NT	7,339
Apenas PET (controle)	19,080

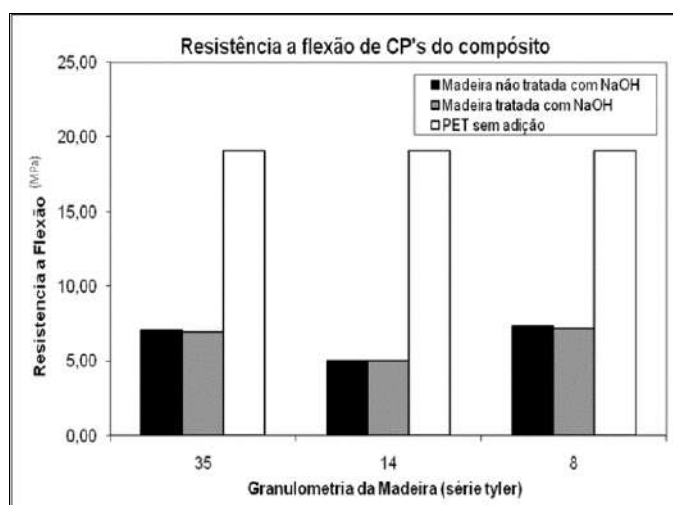


Figura 21 – Gráfico comparativo dos ensaios de RF.

5.2. Compósito de madeira plástica processada com adição de caulim

Os valores médios do ensaio de RF são mostrados, respectivamente, na tabela 6 e na figura 22.

Tabela 6 – Valores médios do ensaio de resistência à flexão.

Composição	Resistência a Flexão (Mpa)
A1	7,29
A2	8,70
A3	10,27
A4	12,40
A5	15,50
Apenas PET (controle)	19,08

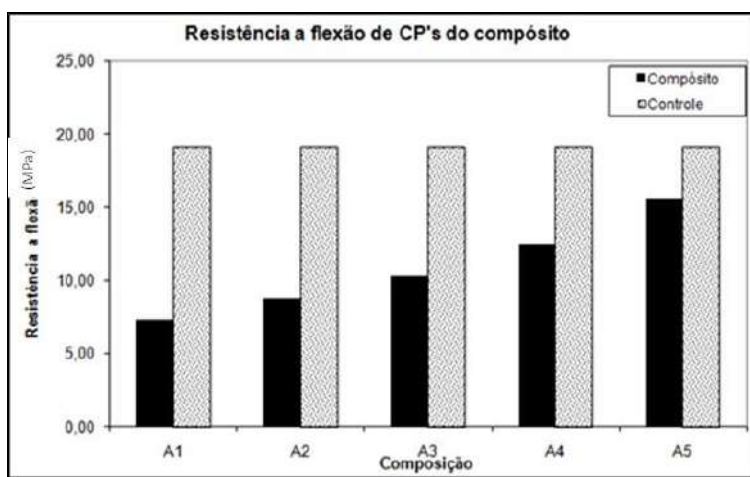


Figura 22 – Gráfico comparativo dos ensaios de RF e do PET sem adição (controle).

5.3. Fractografia macroscópica dos cp`s

As imagens das superfícies de fratura são mostradas na figura 23 dos CP's sem adição de caulim e na figura 24 os CP's com adição de caulim.

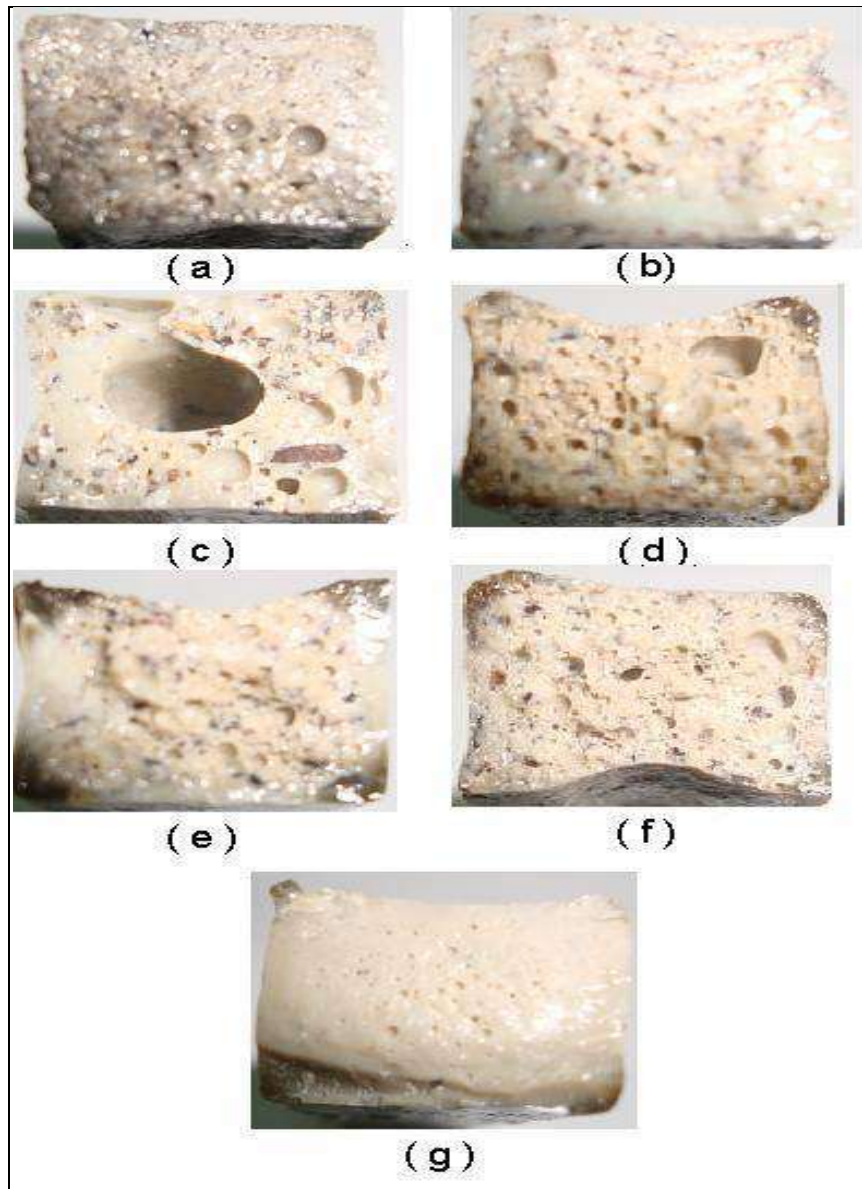


Figura 23 – Superfícies de fratura das composições sem adição de caulim: a) C – 35 – NT, b) C – 35 – T, c) C – 14 – NT, d) C – 14 – T, e) C – 8 – NT, f) C – 8 – T, g) PET sem adição

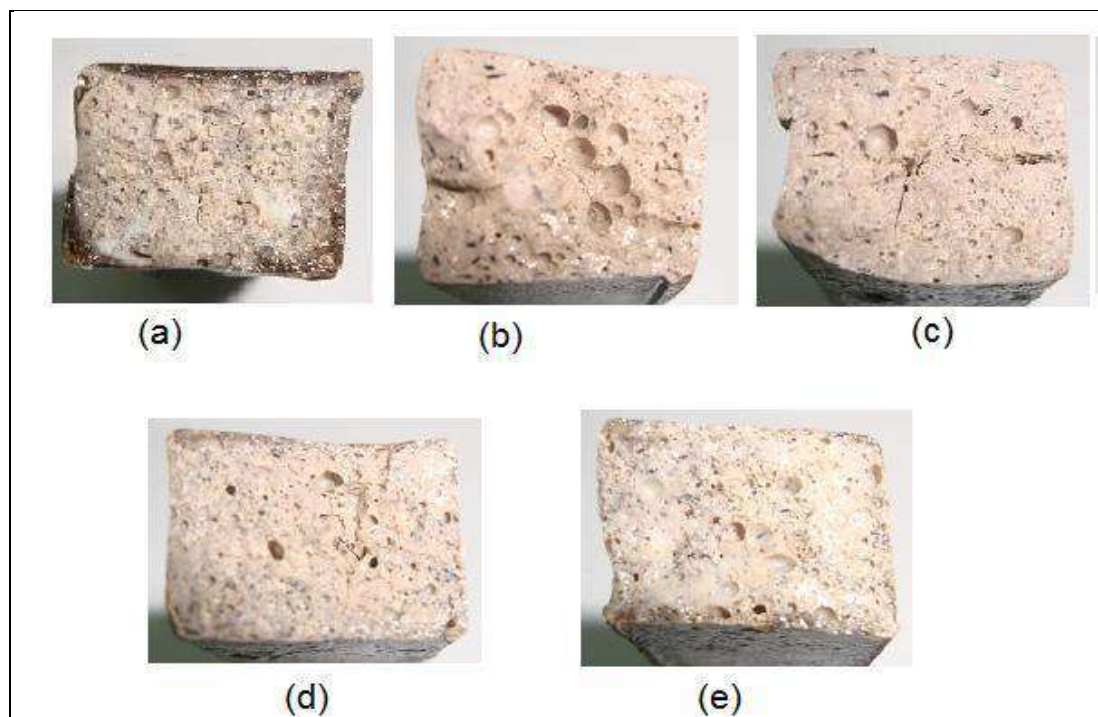


Figura 24 – superfícies de fratura das composições com adição de caulim (a) composição A1; (b) composição A2; (c) composição A3; (d) composição A4; (e) composição A5.

5.4. Análises dos resultados

5.4.1. Compósito de madeira plástica processada sem adição de caulim

De acordo com o gráfico da figura 21 constata-se que a RF dos CP's dos compósitos independem do tratamento com NaOH 10%, porém percebe-se uma redução significativa da RF destes em função dos CP's de PET sem adição. Observa-se que o aumento da granulometria da biomassa não altera demasiadamente as propriedades do compósito. Analisando a figura 23, supõe-se que a adição da madeira a matriz polimérica, contribui com a redução da RF via formação de bolhas provenientes da combustão da madeira. Esse era um resultado esperado, pois algumas referências já mostraram que a madeira na temperatura de fusão da maioria dos polímeros termoplásticos, acima de 200°C, entra em combustão e libera gases formadores de bolhas, que por sua vez, prejudicam o desempenho mecânico dos materiais, pois concentram tensão promovendo ruptura frágil nos mesmos.

Por fim, nota-se que o PET sem adição de biomassa apresenta maior RF (ver figura 21), mas continua com a presença de bolha, no entanto menores, ver figura 23 (g). Isso ocorre devido à ação da degradação termo-oxidativa no processo de fusão do PET, e no caso das amostras com adição de madeira, o efeito só é intensificado.

5.4.2. Compósito de madeira plástica processada com adição de caulim

Como mostra a figura 22, a adição da madeira ao PET, diminui a resistência mecânica do mesmo, devido à formação de bolhas no interior dos CP's, proveniente da combustão da madeira. Resultado semelhante ao observado com o compósito sem adição de caulim. Percebe-se a formação de bolhas, que como já explicado prejudicam o desempenho mecânico dos materiais, pois concentram tensão promovendo ruptura frágil nos mesmos. Em contrapartida, a figura 22 mostra que a adição de caulim leva ao aumento progressivo na resistência. Assim, supõe-se que o caulim minimiza a formação e a concentração de bolhas, ver figura 24, além de diminuir a ação da degradação térmica e oxidativa produzida com a fusão do plástico, aumentando a rigidez do material. Provavelmente o caulim trabalha como uma “barreira”, “quebrando” as bolhas, dificultando o coalescimento e formação de bolhas maiores. Da mesma forma, ele pode estar bloqueando parcialmente a difusão do oxigênio do meio externo, para o meio interior do material, evitando maior degradação termo oxidativa. Isso pode ser observado na figura 18, onde se nota que a cor dos CP's variam de uma coloração cor de mel nas bordas, (resultado da degradação termo-oxidativa), para uma coloração mais clara e parecida com a do PET sem adição.

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no ensaio mecânico de flexão em compósitos de madeira plástica processadas com PET e biomassa de madeira, nota-se:

- a) É inviável a aplicação do compósito processado em forno mufla com PET e biomassa sem adição de caulim, pois a resistência mecânica quando comparado com o PET sem adição é muito menor;
- b) A temperatura de mistura de 270⁰C inviabiliza o processamento, pois causa degradação termo-oxidativa no compósito;
- c) O tratamento químico com NaOH não demonstra melhorar nem piorar a resistência mecânica do compósito de PET com Biomassa;
- d) O processamento em forno mufla causa degradação termo-oxidativa no material, formando bolhas no interior do mesmo, diminuindo a performance mecânica, mesmo para os CP's sem adição.

- e) É relativamente viável usar a amostra com 40% de caulim adicionado ao compósito, pois a diferença de resistência do mesmo para a amostra de referência, PET, é de ± 3 MPa, muito pequena quando comparada ao compósito sem adição do mineral, na ordem de ± 13 MPa;
- f) A adição do caulim ajuda a diminuir o diâmetro das bolhas formadas durante o processamento, melhorando a performance mecânica do compósito;
- g) A amostra com 50% de caulim é inviável de ser processada em forno mufla;
- h) Supõe-se que a aplicação tecnológica da amostra com adição de caulim, A5, é viável no que se refere a projetos de designe de interiores em uso arquitetônico;

7. SUGESTÕES

Este trabalho sugere:

- a) Realizar a conformação dos CP's em extrusoras com temperaturas inferiores a 200°C e próximo a temperatura de amolecimento do PET: ± 117 °C;
- b) Comparar à resistência a flexão dos compósitos com amostras vegetais disponíveis no comércio local;
- c) Realizar o estudo de intemperismo nas amostras;
- d) Realizar outros ensaios de resistência, tais como: tração, compressão, impacto, dureza, torção, fadiga, fluência, etc;
- e) Realizar ensaios de caracterização: massa específica, difração de raios-X, microscopia eletrônica, infravermelho, ressonância magnética, peso molecular, etc;
- f) Realizar um estudo econômico de custo de produção e quantidade de resíduos utilizados.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. V. B; GIANNETTI, B. F. **Ecologia industrial**: conceitos, ferramentas e aplicações. São Paulo, 2006.

Amapá Florestal e Celulose S.A. - AMCEL. **Perfil da AMCEL revela foco e melhoria contínua dos resultados.**
<http://www.internationalpaper.com.br/cavacos/cavacos.asp?revista=417&pagina=8>.
2005.

American Society for Testing and Materials - ASTM. Norma ASTM D790. **Flexural of unreinforced and reinforced plastics electrical insulating materials [Metric]**, Standard test Methods for. Philadelphia, PA, 1993.

AMPIAM, S. G. C. **Bureau of mines, mineral commodity profiles. USA.** 1979.

Agência Nacional de Águas - ANA; Ministério do Meio Ambiente. **Rio mais Dez Brasil.**
<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/Rio10>

ANGÉLICA, R.S.; COSTA, M.L. de; NEVES, R.de F.; BARATA, M.S. O Caulim na Amazônia: da mina ao rejeito mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7.; SIMPÓSIO DE GEOQUÍMICA DOS PAISES DO MERCOSUL, 2001, Curitiba, PR. **Boletim de Resumos.** Curitiba, 2001. P. 55-56.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **Norma Brasileira (NB) 10004.** 2004.

ASKELAND, D.R.; PHULÉ, P.P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. ed. Cengage Learning. São Paulo, 2008. 594p.

Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET.
<http://www.abipet.org.br/index.html>

BERTHOLDI, J; SILVA, D.A.K; COELHO, L.A.F; PEZZIN, S.H; PEZZIN, A.P.T. **Desenvolvimento de biocompósitos de PHBV com resíduos de madeira**. 14º Seminário de iniciação científica, UNIVILLE, Joinville, 2009.

BESSEN, B; PEZZIN, A.P.T; SILVA, D.A.K; RÜDIGER, C.A; VELA, J.C; BARAUNA, D. **Avaliação do comportamento de biocompósitos de matriz polimérica e resíduos de madeira em ensaios de usabilidade visando o desenvolvimento de produto**. 14º seminário de iniciação científica, UNIVILLE, Joinville, 2009.

DE SOUZA, T.B; PEZZIN, A.P.T; DAMBRÓS, P; SCHULZ, J.G; FURLAN, S.A; WISBECK, E. **Biodegradação de Poli(tereftalato de etileno) (PET) e de polipropileno (PP) por pleurotus djamor**. UNIVILLE, Joinville, 2009.

BARATA, M.S. **Concreto de Alto Desempenho no Pará**: estudo da viabilidade técnica e econômica de produção de concreto de alto desempenho com os materiais disponíveis em Belém através do emprego de adições de sílica ativa e metacaulim. 1998. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BORNELLI, C.M.C.; ELZUBAIR. A.; MIGUEZ SUAREZ, J.C.; MANO, E.B. **Comportamento Térmico, Mecânico e Morfológico de Compósitos de Polietileno de Alta Densidade Reciclado com Fibras de Piaçava**. *Polímeros: Ciência e tecnologia*, vol.15, nº4, p. 256-260, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Brasília: [S.n.], 2000. v.20.

CANDIAN, L.M. **Estudo do polietileno de alta densidade reciclado para uso em elementos estruturais**. São Carlos, 2007.

CATÁLOGO PALLMANN. **Produção de Perfis a Partir de Compósito Plástico-Fibra Natural**. 2010.

CERQUEIRA, F. **Formação de recursos humanos para a gestão ambiental**. Revista de Administração Pública, Rio de Janeiro, v.26, n.1, p.50-55, jan./mar. 1992.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do Ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997. 104 p.

CORREA, C.A.; FONSECA, C.N.P.; NEVES, S. **Compósitos termoplásticos com Madeira**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003.

CALLISTER JR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma introdução**. Ed. LTC, 5ªed, 589p. Rio de Janeiro: 2002.

CLEMONS, C. **Wood Plastic Composites in the United States**. The Interfacing of two Industries . 2002.

CHRISPINO, Álvaro. **Políticas públicas, planejamento e futuro**. Mimio, 2007.

Companhia mineradora de Minas Gerais - COMIG. **Apostila**. 1994. 15p.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. <http://www.mma.gov.br/conama>

DA SILVA, J.R; **Análise de viabilidade econômica do emprego de compósitos de PVC reforçado com fibra de bananeira**. Joinville – SC, 2008.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Metodologias de avaliação de minerais para a indústria de papel**. São Paulo. 1991. IPT, 169p.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO**, Brasília, 1989 a 2000.

FARIAS, J. O. G. **DESENVOLVIMENTO DE ESTUDOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DUODECENAL (2010 - 2030) DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**. Agosto de 2009.

GRIGUL, V.H; MAZUR, L.P; GARCIA, M.C.F; SCHNEIDER, A.L.DS. **Avaliação da degradação de blendas de P(3HB-co-3HV)/PLLA em diferentes condições ambientais**. UNIVILLE, Joinville, 2009.

Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá - IEPA. **Atualização do plano estratégico e plano de ação com vistas ao desenvolvimento da indústria moveleira e de produtos de maior valor agregado do Amapá**. Produto 3 – relatório final. 05 IEP0107 R00. Curitiba, PR, março/2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Contagem da população 2007**. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

Instituto para o Homem e Meio Ambiente da Amazônia - IMAZON; Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola - IMAFLORA; Amigos da Terra; SMERALDI, R.; VERÍSSIMO, A. **Acertando o alvo**: Consumo de madeira no mercado interno brasileiro e promoção da certificação florestal. 1999.

Ipiranga Petroquímica. **Medição de Propriedades**: Propriedades mecânicas. Resistencia a flexão ASTM D 790. 2004.

JEPSON, W. B. **Structural iron in caolinites and associated ancillary minerals** (467-536) In: STUCKI, W., GOODMAN, B. A. 1988.

LIMA, C. G. R.; **A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO AMBIENTAL**: um estudo de caso. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Mato Grosso – Cuiabá / Mato Grosso, 2006.

LIXO.COM.BR.; **Classificação do lixo**. <http://www.lixo.com.br/class.htm>, acesso em: 20, out. 2007

LUZ, S.M.; GONÇALVES, A.R.; DEL ARCO JR, A.P. **Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Compósitos Reforçados com Celulose de Bagaço e Palha de Cana.** Revista Matéria, v.11, no2, p.101-110, 2006.

SANTOS, P.S.S. **Ciências e Tecnologia de Argilas.** Ed. Edgard Blucher LTDA, vol.2, p.409-854. São Paulo: 1992.

SANTOS, P.A. SPINACÉ, M.A.S; FERMOSELLI, K.K.G.; DE PAOLI, M.A. **Efeito da Forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com poliamida-6.** Polímeros: Ciência e tecnologia, vol. 19, nº1, p. 31-39, 2009.

MANO, E. B. ; PACHECO, E. B. A. V. ; BONELLI, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem.** 1 ed. São Paulo: Edgard blücher, 2005. ISBN 85-212-0352-7.

MAY, P. H., LUSTOSA, M.C. & V. **Economia do Meio Ambiente: Teoria e Prática.** Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2003.

MOLINARI, É. J. **Reutilização dos resíduos de rochas naturais para o desenvolvimento de compósitos poliméricos com matriz termofixa na manufatura de pedras artificiais.** Florianópolis, 2007.

National Association for PET Container Resources – NAPCOR.
http://www.napcor.com/PET/pet_reports.html

PARENTE, R.A. **Elementos estruturais de plástico reciclado.** São Carlos, 2006.

PETRI, S., FÚLFARO, V. J. (1983). **Geologia do Brasil**. São Paulo: EDUSP, 632p. São Paulo.

PIVA, A.M.; WIEBECK, H. **Reciclagem do Plástico. Como Fazer da reciclagem um Negócio Lucrativo**. Ed. Artliber Editora LTDA. 111p. São Paulo:2004.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia. Tecnologia e Aplicações**. Ed. Artliber Editora, 349p. São Paulo: 2005.

QUINHORES, R. **Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

RATTNER, Henrique; **Sustentabilidade** – um ensaio de prospectiva. In: Revista Espaço Acadêmico, Jun. 2004. <http://www.espacoacademico.com.br/038/38rattner.htm>, Acesso em: 02 nov. 2007.

RECICLAGEM. NET. **Portal da reciclagem e do meio ambiente**. <http://www.compam.com.br/>.

RECICLOTECA. **Recicloteca** Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br>.

RODOLFO, A.; VANDERLEY, M.J. **Desenvolvimento de PVC reforçado com resíduos de pinus para substituir madeira convencional em diversas aplicações**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, Janeiro-Março, ano/vol. 16, número 001, Associação Brasileira de Polímeros, São Carlos, Brasil PP. 1-11, 2006.

RODRIGUES, S. C.; PEIXOTO, J. A. A.; XAVIER, L. S. **Soluções para o reaproveitamento sustentável de resíduos de madeira** - Diagnóstico da madeira tropical no Estado do Rio de Janeiro – XV SIMPEP – UNESP, São Paulo, 2008.

_____. **Análise de ciclo de vida do processo de fabricação do compósito ecowood**, utilizando o software Umberto – Estudo de caso de reciclagem – IV Simpósio Internacional de Meio Ambiente – SIMA – UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

Roskill Information Services Limited. **The Economics of Kaolin 2000**.

SCHWERTMANN, V. **Iron in soils and clay minerals**. New York.

SILVA, S. P. **Geologia do Caulim**, 2a ed., Belém: DNPM 5o DS/DNPM, 1993, 18p.

SILVA, C. L. and MENDES, J. T. G.(orgs); **Reflexões sobre o desenvolvimento sustentável**: Agentes e interações sob a ótica multidisciplinar., Petrópolis, Vozes, 2005.

SILVA, P. **Políticas públicas e gestão ambiental**: um estudo das práticas de administração pública de resíduos da construção civil na cidade de belo horizonte – MG; Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2005.

SINTONI, A.; TANNO, L. **Panorama do mercado consumidor no Brasil**: minerais industriais e de uso social, Brasil Mineral, São Paulo, v. 14, n. 147, p. 34-39, jan/fev, 1997.

The Association of Postconsumer Plastic Recyclers
<http://www.plasticsrecycling.org/pet-thermoforms>

The Plastics Portal. <http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics/pet.aspx>

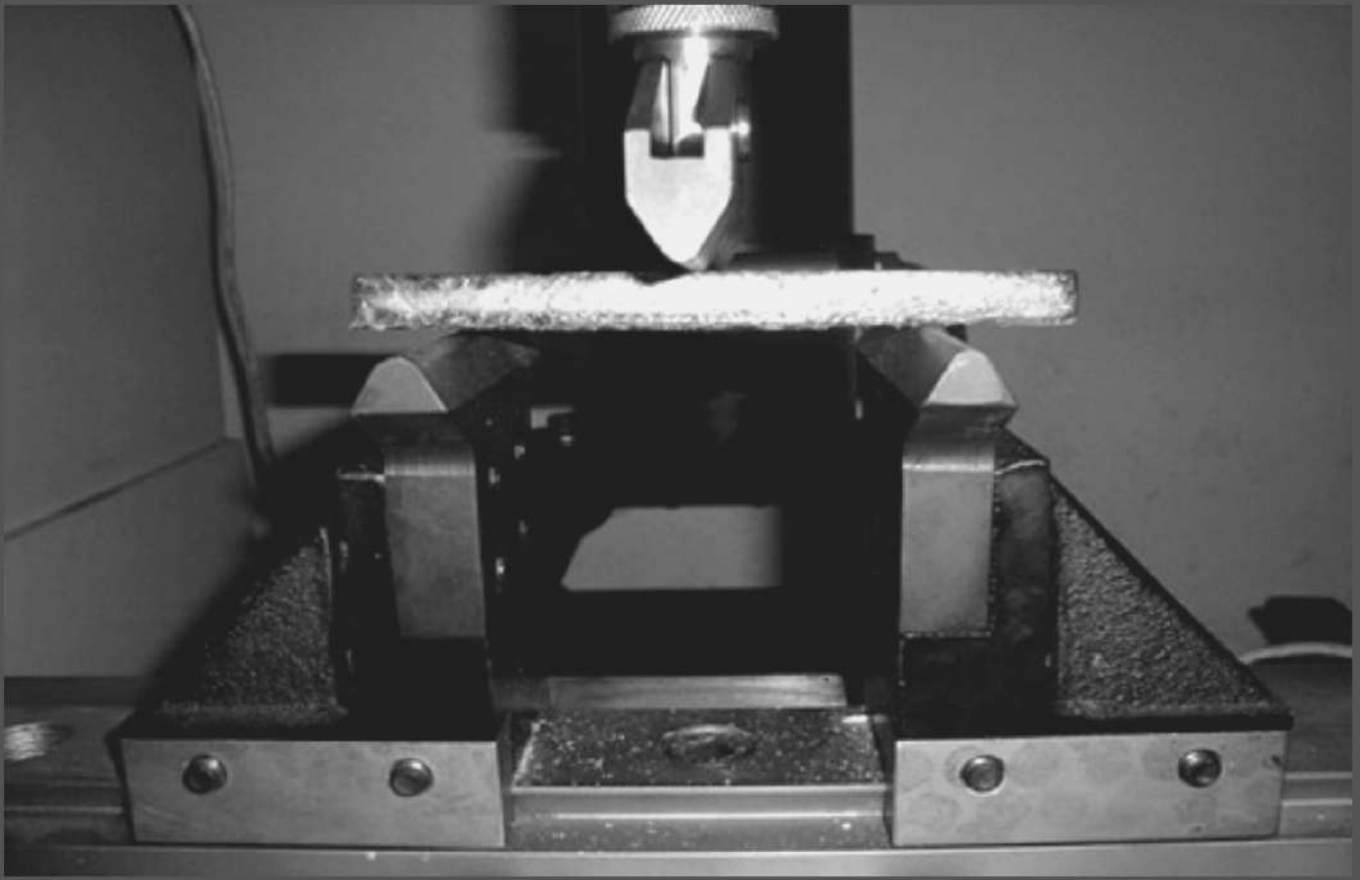
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO. **Década das nações unidas para o desenvolvimento sustentável** – 2005/2014 – Documento final, Plano internacional de implementação. Brasília, 2005.

USSAMI, H. BACIA **HIDROGRÁFICA DO RIO JARI / PA-AP**: ESTUDOS DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO. 2010.

YAMAJI, F. M.; BONDUELLE, A. **Utilização da Serragem na Produção de Compósitos plástico-Madeira**. Revista Floresta, jan. – abr, p. 54 – 66. Curitiba: 2004.

WWF – BRASIL. **Relatório Planeta Vivo**. <http://www.wwf.org.br/>.

ZANINI, J. C.; **A Previsão tecnológica como instrumento do planejamento**. In: MARCOVITCH, Jacques; Administração em ciência e tecnologia. São Paulo: Edgard Blücher, 1983.



Estudo da resistência a flexão de compósitos processados a partir de resíduos: garrafas PET, resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa de madeira.

CLEYSON SANTOS DE PAIVA



É crescente o número de pesquisas no Brasil voltadas ao tratamento de resíduos sólidos. Como exemplo podemos citar os resíduos poliméricos, que após o consumo do produto interno ao vasilhame plástico são descartados em aterros sanitários, ou simplesmente eliminados no meio ambiente. No Estado do Amapá, não diferente dos demais Estados do Brasil, grande é a quantidade gerada e pouco é a reutilização deste resíduo. Além dos resíduos plásticos, o Amapá se depara com problemas voltados a destinação final de resíduos industriais, por exemplo, o resíduo do beneficiamento do caulim e biomassa vegetal. Para disposição final, grandes áreas são destinadas para depósito, formando imensas lagoas e pilhas de caulim e biomassa, respectivamente. Uma alternativa para resolver este problema foi o processamento de um compósito da mistura destes três resíduos (plástico utilizado foi o PET, biomassa e caulim). Este trabalho avaliou o comportamento mecânico a flexão em três pontos do compósito de madeira plástica processada com e sem a adição do resíduo do beneficiamento do caulim de forma a se identificar a resistência do material bem como a existência de sua viabilidade de adição da biomassa e do caulim ao PET. Para isso foram confeccionados 120 corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de flexão em três pontos em máquina universal de ensaios mecânicos de acordo com a norma ASTM D 790. No final de cada 10 ensaios mecânicos de uma determinada composição dos CP's foi retirada a média dos valores e plotado em gráfico para visualização dos dados. Foram analisados os resultados e verificou que inviabilidade da adição de madeira ao PET, devido ao compósito ser um material frágil, mas quando adicionado o resíduo do beneficiamento de caulim e madeira no PET nota-se a viabilidade, desde que seja na proporção 40% de caulim e 60% da mistura PET com madeira. Já para misturas com 50% de caulim torna-se inviável o processamento.



Editora Enterprising

www.editoraenterprising.net

E-mail: contacto@editoraenterprising.net

Tel. : +55 61 98229-0750

CNPJ: 40.035.746/0001-55

