



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE MATERIAIS



ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DE TELHAS PRODUZIDAS A PARTIR DE
EMBALAGENS MULTICAMADAS PÓS-CONSUMO

Matheus Garcia Rosa

00136065

Professora Orientadora:
Dra. Ruth Campomanes Santana

Dezembro de 2015

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha linda esposa Gabriela Brasil pelo amor, pelo apoio incondicional e ajuda indispensável nas noites de trabalho. Ela que sempre me apoiou nos momentos de dificuldade e dúvida.

A minha mãe Susana F. Garcia que, através de seu amor, sempre me incentivou na busca por meus objetivos, e nunca se negou a ajudar e me amparar, que foi ela meu exemplo de pessoa e profissional desde criança.

Aos meus entes queridos, familiares e amigos que apoiaram na doação de embalagens tão necessárias para a produção das amostras.

Aos colegas de Lapol que apoiaram nos ensaios e idéias, em especial a minha orientadora Prof. Dra. Ruth Marlene Campomanes Santana, que durante suas aulas, me incentivou na busca pela reciclagem das embalagens, por seu apoio, paciência e auxílio.

Aos meus colegas da UFRGS, pelo apoio e ajuda na concretização deste estudo.

RESUMO

As embalagens multicamadas são amplamente utilizadas nos dias de hoje, basicamente para o condicionamento de alimentos devido às suas propriedades de barreira. O volume desses resíduos cresce cada vez mais. Eles possuem em sua composição mais de um elemento, geralmente alumínio e algum polímero, que são difíceis de serem retirados e reciclados. Diante disso, diversas pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de produzir materiais reciclados com o alumínio agindo como carga nos polímeros. Assim, nesse trabalho foram desenvolvidos produtos reciclados (placas) visando aplicação na construção civil a partir de embalagens pós-consumo de creme dental, café a vácuo e longa vida cartonadas. Foi realizado o tratamento dos resíduos das embalagens, em especial, as embalagens cartonadas que tiveram que passar por um processo de retirada do papel presente no material, por meio de um sistema *hidrapulper* fabricado especialmente para o presente estudo. Os corpos de prova foram caracterizados por ensaios mecânicos, entre eles, ensaio de flexão, de impacto, de tração e de absorção de água. Para fins de comparação, foram testados corpos de prova a partir de telhas comerciais produzidas na indústria de PP e de embalagem cartonada reciclada. Os resultados mostraram que os materiais produzidos apresentaram diferentes resultados quando comparados com os materiais comerciais. As placas do material de embalagens de café não tiveram resultados satisfatórios, estando sempre abaixo dos resultados encontrados pelos outros materiais. As placas do material de embalagem de creme dental apresentaram resultados satisfatórios, porém abaixo dos materiais comerciais. As placas do material de embalagem cartonada, produzidas em laboratório, apresentaram no geral bom desempenho mecânico (tração impacto), menos no ensaio de flexão quando comparados ao material produzido comercialmente com embalagens cartonadas. Cabe ressaltar que estas placas destacaram-se dos outros materiais produzidos e do comercial em sua menor capacidade de absorção de água, propriedade importante para o tipo de aplicação, em períodos longos de chuva.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS.....	8
2.1 Objetivos Gerais.....	8
2.2 Objetivos Específicos	8
3. REVISAO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 Histórico das telhas	9
3.2 Materiais usados em telhas.....	9
3.2.1 Polietileno, PE	11
3.2.1.1 Polietileno de baixa densidade, PEBD	11
3.2.1.2 Polietileno de alta densidade, PEAD	12
3.2.1.3 Polietileno linear de baixa densidade, PELBD	13
3.2.2 Polipropileno, PP.....	14
3.2.3 Policloreto de vinila, PVC	14
3.2.4 Policarbonato, PC	15
3.2.5 Alumínio	15
3.3 Propriedades das telhas.....	16
3.4 Resíduos Sólidos	16
3.5 Resíduos de embalagens e sua problemática.....	19
3.6 Reciclagem mecânica como alternativa	20
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	22
4.1 Materiais Utilizados	22

4.2 Metodologia	23
4.2.1 Sistema de cominuição de embalagens cartonados: Hidrapulper	23
4.2.2 Moagem final.....	25
4.2.3 Processamento das placas: Conformação	26
4.3 Caracterização.....	27
4.3.1 Ensaio de Flexão	27
4.3.2 Ensaio de Impacto	28
4.3.3 Ensaio de Tração	29
4.4 Ensaio de Absorção de Água	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1 Avaliação do sistema Hidrapulper	31
5.2 Avaliação do processo de Conformação	32
5.3 Propriedades mecânicas.....	33
5.3.1 Avaliação da resistência a Flexão das placas	33
5.3.2 Avaliação da resistência a Impacto	36
5.3.3 Avaliação da resistência a Tração.....	38
5.4 Ensaio de Absorção de Água	41
6. CONCLUSÃO	43
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	45
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a questão do lixo gerado pela população vem sendo amplamente discutida. Os aterros sanitários, onde são depositados a grande maioria dos resíduos urbanos, estão em suas capacidades máximas. A maior parte dos resíduos gerados vão para aterros, segundo a *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000)*, sendo que mais de 90% dos resíduos gerados são depositados em aterros ou lixões a céu aberto. Assim, alternativas para o melhor manejo e reciclabilidade destes resíduos vem sendo amplamente estudadas (1).

Segundo dados *Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA*, em 2012, 31,9% dos resíduos gerados são recicláveis (2). Mas muito desse material é depositado em aterros e não passa por triagem para reciclar. Gerando, assim, um passivo enorme de resíduos, e um problema para a manutenção dos aterros.

Dentro dessa gama de resíduos gerados, as embalagens plásticas descartáveis são hoje um grande desafio, pois são largamente utilizadas, principalmente na indústria alimentícia. Essa alta produção e consumo se devem à versatilidade dos polímeros e por algumas características como a flexibilidade, o fácil processamento e o baixo custo (3). Os resíduos de embalagens, gerados pelo alto consumo na sociedade, levam a busca de formas de reaproveitar esses materiais. Aspectos atraentes para o setor de reciclagem são mostrados pela rentabilidade do mercado de reciclagem de embalagens plásticas no Brasil (4).

Assim, o incremento do volume de materiais poliméricos usado em embalagens representa um desafio para a reciclagem racional. Para que seja possível isso, exige-se uma abordagem integrada entre processos de transformação da matéria-prima, a funcionalidade na conservação dos produtos e a fabricação. Os diferentes materiais e tipos de polímeros usados nas embalagens dificulta muito a separação dos mesmos em unidades de triagem. Aliado a isso, a baixa densidade do material e o baixo preço pago, apresenta uma grande barreira para a viabilidade do processo (4). Em especial, as embalagens multicamadas, entre elas as embalagens de longa vida, que

são compostas de mais de um material, como Alumínio, Politereftalato de Etileno (PET), Polipropileno (PP), Polietileno (PE) ou Papelão. Essa variedade de materiais se dá pela necessidade de se oferecer propriedades de barreira ao vapor d' água, gás, luz e flexibilidade, além de baixo custo e processamento fácil. (3,4)

Portanto, diversas formas de se produzir materiais a partir destes resíduos vêm sendo largamente estudado, assim como os meios de se reciclar. A dificuldade da retirada o alumínio incorporado nas embalagens, junto ao PE ou PP, leva a análises de uso de ambos materiais em produtos finais, tais como placas ou chapas prensadas entre os mais usados. Esses materiais reciclados estão sendo largamente utilizados na construção civil, seja como tapumes ou como telhas. (5)

As telhas utilizadas na construção civil são geralmente fabricadas com material cerâmico, por processos simples de prensagem. Existem no mercado telhas, fabricadas de material polimérico, geralmente transparente, utilizado para a passagem de luz. (6) Já os tapumes, geralmente são fabricados de madeira e de MDF, que consiste em raspas de madeira unidas por uma matriz de resina termofixa como epóxi ou poliéster pelo processo de prensagem.

Nesse sentido, o presente trabalho propõe o estudo da viabilidade técnica da reciclagem mecânica de diversas fontes de embalagens multicamadas pós-consumo para obtenção de placas a serem aplicadas no setor de construção civil e mobiliário.

2. OBJETIVO

2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho propõe o estudo da viabilidade técnica (formulação, processabilidade e desempenho mecânico) da reciclagem mecânica de embalagens multicamadas pós-consumo para obtenção de placas a serem aplicadas no setor de construção civil e mobiliário.

2.2 Objetivos Específicos

Tendo em vista o objetivo geral descrito acima, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Desenvolver a metodologia adequada de cominuição das embalagens multicamadas pós-consumo, bem como a retiradas do papel presente nas embalagens cartonadas.
- Determinar os parâmetros de processamento adequado para obtenção das placas;
- Análise das propriedades físicas, mecânicas e térmicas das diferentes placas produzidas;
- Avaliação comparativa das propriedades das placas produzidas com as usadas comercialmente na construção civil.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico das telhas

As telhas surgiram por volta de 10.000 anos A.C. na China e no Oriente Médio, fabricadas de materiais cerâmicos como a argila. Elas eram secas ao sol, e por volta de 3.000 a.C., iniciou-se o cozimento da argila em busca de maior resistência mecânica (7).

No Brasil, o uso das telhas ocorreu desde a colonização, fabricadas com mão de obra escrava. Os moldes das telhas eram as pernas dos artesãos (8).



Figura 1. Imagem representativa de telhas coloniais de argila [Fonte: <https://coisasdaarquitectura.wordpress.com>].

O processo de fabricação sofreu poucas alterações. Os maquinários atuais foram desenvolvidos nas décadas de 50 e 60, e pouco se tem buscado de novas práticas na fabricação (9).

3.2 Materiais usados em telhas

A argila foi o primeiro material utilizado na fabricação de telhas, nos tempos antigos. Atualmente, diversos materiais vêm sendo utilizados para esse fim, além da cerâmica vermelha. Telhas de cimento são amplamente utilizadas, sendo fabricadas de cimento, de metais e de polímeros. Na Figura 2 são mostradas as telhas de fibrocimento e a de cerâmica vermelha.

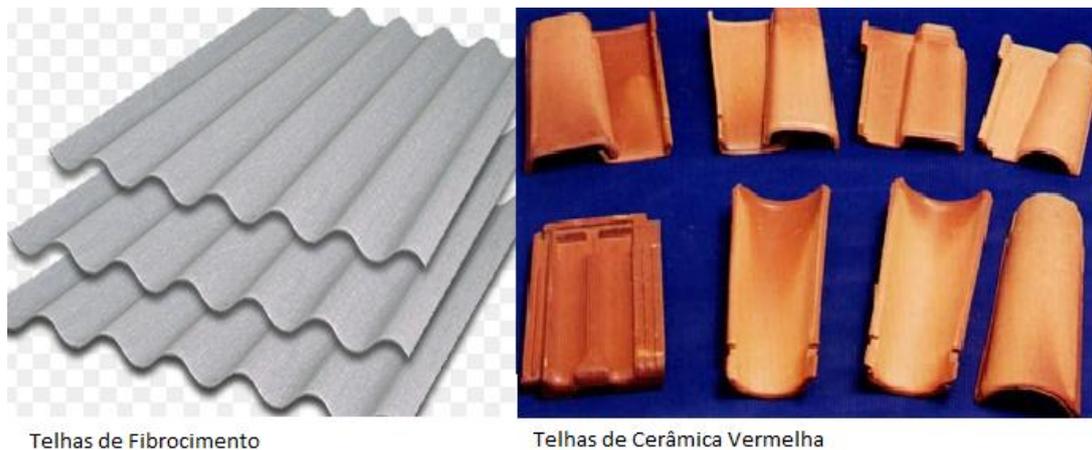


Figura 2. Imagem de telhas de fibrocimento e de cerâmica vermelha.

As telhas fabricadas a partir de cimento estão classificadas em dois grupos: 1) telhas de concreto e 2) telhas de cimento com reforço de fibra de celulose ou polipropileno ou de ambos. Esses materiais são amplamente utilizados na construção civil com dimensões e formatos variados (10).

As telhas de metais são fabricadas de aço ou de alumínio. Elas têm grande durabilidade e resistência mecânica, mas o custo é mais alto que as fabricadas de cimento.

As telhas fabricadas de material polimérico são muito populares, pois agregam boa resistência mecânica e baixo custo. Os materiais utilizados são policloreto de vinila (PVC), PE, PP e PC (policarbonato). O material polimérico mais utilizado é o PP.

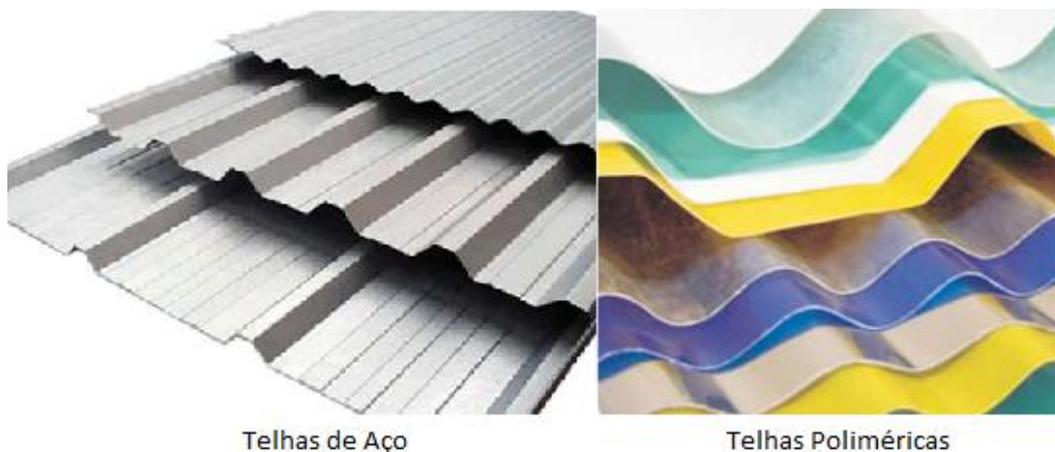


Figura 3. Telhas de aço e de material polimérico.

3.2.1 Polietileno, PE

O polietileno, PE é um polímero termoplástico formado em sua cadeia de um número par de carbonos ligados de forma covalente com átomos de hidrogênio, em sua forma mais simples. As extremidades dessa cadeia são finalizadas por grupos metilas. Pode ser sintetizada por diversas reações de polimerização, como por radicais livres, por polimerização aniônica, polimerização catiônica, por condensação e por coordenação de íons. O PE produzido em altas pressões e temperaturas por diversos catalisadores, dependendo das propriedades finais que se deseja. Em condições normais, eles não são tóxicos. Assim, podem ser usados em contato com alimentos ou fármacos (11, 12).

O PE é o polímero com maior volume consumido no mundo. Como é um material muito versátil, apresenta um ótimo desempenho em relação a outros polímeros e materiais como metal, papel e vidro (13).

O PE é classificado como polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD) e polietileno linear de baixa densidade (PELBD) (14).

3.2.1.1 Polietileno de baixa densidade, PEBD

O PEBD foi o primeiro dos polietilenos a ser desenvolvido. É um polímero semicristalino (50%-60%), e comumente usado em temperaturas normais de trabalho. A temperatura de fusão (T_m) é de 110 a 115 °C.

O processo de produção do PEBD utiliza temperaturas entre 100°C e 300°C e pressões de 1000 a 3000 atmosferas. O principal inicializador é o oxigênio, formando uma reação altamente exotérmica que conduz a cadeias altamente ramificadas, que se relacionam diretamente com as propriedades finais do material produzido. Os grandes volumes de ramificações atrapalham a cristalização do PEBD, resultando em baixas densidades, que se encontram na

faixa de 0,90 a 0,94g/cm³. Na figura 4 é mostrada a estrutura química do PEBD.

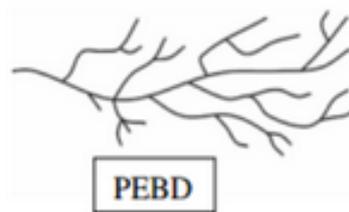


Figura 4. Representação da cadeia ramificada do PEBD.

Suas principais características são tenacidade, flexibilidade, resistência a produtos químicos e ao tempo e baixa absorção de água. Tem baixo custo e é facilmente processado pelos principais métodos atuais. Geralmente, artigos produzidos com esse polímero são translúcidos (12).

3.2.1.2 Polietileno de alta densidade, PEAD

O PEAD é um material mais rígido do que os de baixa densidade. Possui um baixo nível de ramificações, com altas forças intermoleculares e alta densidade. É o mais próximo, quimicamente, do polietileno puro. Através do uso de catalisadores Ziegler, a polimerização se inicia sob pressões entre 10 a 15 atm e temperaturas entre 20 a 80°C. O produto resultante é altamente cristalino e possui baixo teor de ramificações, assim, tem maior densidade. A temperatura de fusão (T_m) é aproximadamente 132°C e a densidade entre 0,95 e 0,97 g/cm³. Na figura 5 é mostrado a estrutura química do PEBD.

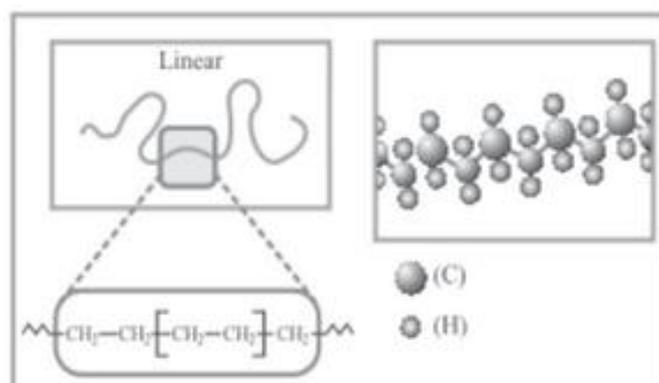


Figura 5. Representação do PEAD.

Suas principais características são resistência em altas temperaturas, atóxico, alta resistência a tração e compressão, pouca estabilidade dimensional. Materiais produzidos de PEAD são mais resistentes que aqueles produzidos com PEBD, e em sua maioria são materiais opacos por apresentar maior grau de cristalinidade (12).

3.2.1.3 Polietileno linear de baixa densidade, PELBD

O polietileno linear de baixa densidade é um copolímero de etileno com uma α -olefina (propeno, 1-buteno, 1-hexeno ou 1-octeno). Ele apresenta uma estrutura molecular de cadeias lineares com curtas ramificações e uma estreita distribuição de peso molecular comparada ao PEBD (12).

O PELBD é mais resistente e rígido do que o de baixa densidade, pois tem suas cadeias mais curtas, mas com maior número de ramos laterais, facilitando o empacotamento das cadeias, como mostrado na figura 6. São muito adequados para rotomoldagem e são amplamente utilizados para todos os tipos de tanques, tambores, entre outros (13).

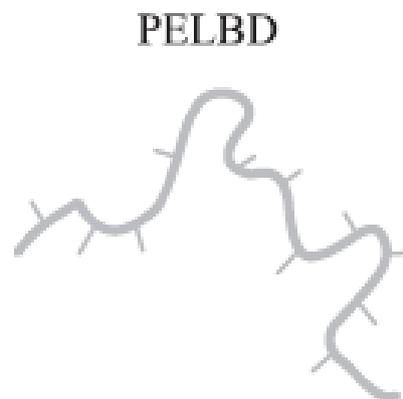


Figura 6. Representação do PELBD.

3.2.2 Polipropileno, PP

O polipropileno (PP) é um dos polímeros mais novos. É uma resina termoplástica de baixa densidade, semi-cristalino, pertencente ao grupo das poliolefinas, que oferece um bom equilíbrio de propriedades mecânicas, químicas e térmicas. Este possui o grupo metil lateral cuja estrutura química é mostrada na figura 7, que influencia na densidade entre 0,85 a 0,95g/cm³ e a temperatura de fusão (T_m) na faixa de 165 a 175°C (14).

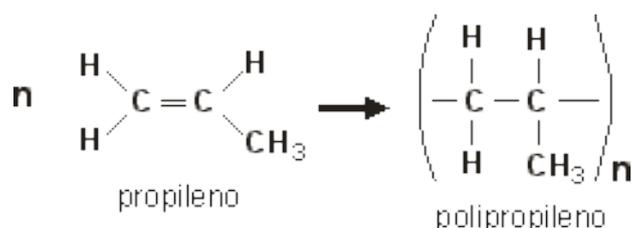


Figura 7. Representação do PP.

O baixo custo e a versatilidade propiciam o emprego dessa poliolefina para tanques, conexões e válvulas, aparelhos ortopédicos e brinquedos (15). Suas principais propriedades são baixo custo, elevada resistência química e a solventes, alta resistência a fadiga ou a flexão e boa estabilidade térmica (16).

3.2.3 Policloreto de vinila, PVC

O policloreto de vinila (PVC) é o segundo polímero mais consumido no mundo, com uma demanda superior a 35 milhões de toneladas. Pode ser translúcido ou opaco, e rígido ou flexível.

O PVC é um dos materiais mais utilizado pela sua versatilidade e sua adequação aos processos e fabricação. O PVC pode ter suas características modificadas dentro de um amplo espectro de propriedades em função da aplicação final, devido à necessidade de a resina ser formulada

mediante a adição de aditivos, variando do extremamente flexível ao rígido. Este possui um átomo de cloro como grupo lateral no mero repetitivo, cuja estrutura química é mostrada na figura 8.

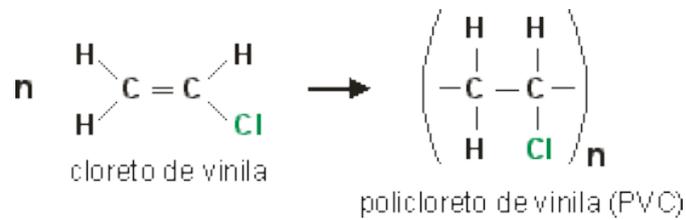


Figura 8. Representação do PVC.

Suas principais características são resistência a chamas, bom isolante elétrico, resistência ao choque, resistência química a maioria dos solventes e versatilidade de processamento (17). Assim suas aplicações vão desde tubos e perfis rígidos, para uso na Construção Civil, até brinquedos e laminados flexíveis (17).

3.2.4 Policarbonato, PC

O Policarbonato (PC) é um polímero termoplástico amorfo, que teve o início de sua fabricação por volta de 1953. Suas principais propriedades são alta resistência ao impacto, transparência, alta resistência térmica, resistência à chama sem halogênios e boas propriedades elétricas. (18)

3.2.5 Alumínio

O Alumínio (Al) é um metal macio, leve e resistente produzido a partir da bauxita. É o elemento mais abundante na crosta terrestre. Sua produção comercial iniciou no século 19.

Atualmente, o seu uso excede qualquer metal exceto o aço. As suas principais características são leveza, boa resistência a corrosão, boa condutividade e baixo ponto de fusão (19).

3.3 Propriedades das telhas

As telhas são componentes para a cobertura de edificações, tem a forma essencialmente retangular e o perfil ondulado. Normalmente, são usados conjuntos de telhas, integrando uma as outras, formam o telhado (20).

As propriedades básicas são determinadas pela Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT) através das normas NBR 7581, para telhas de fibrocimento, e NBR 13858-2 e para telhas de concreto (21, 22). A telha oferece, além de uma boa cobertura, impermeabilização e resistência a intempéries. Na tabela 1 é apresentado requisitos necessários.

Tabela 1. Propriedades das telhas, indicada pela NBR 7581.

Propriedade	Limite
Absorção de água, %	Máximo de 37
Carga de ruptura à flexão, N/m	4000
Tolerância dimensional, %	± 2
Massa da telha seca	Não superior a 6% do valor de projeto.
Dimensões, mm	Até 420 ± 2

3.4 Resíduos Sólidos

Resíduo sólido é definido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como sendo resíduos no estado sólido ou semi-sólido resultantes das atividades da comunidade de origem, sendo essa industrial, doméstica, serviços de saúde e de limpeza urbana.

Os resíduos sólidos são classificados, normalmente, segundo a sua origem, divididos em resíduos urbanos, industriais, de serviços de saúde, de portos e aeroportos, agrícolas, entulhos e radioativos (23).

O conceito do lixo não existe na natureza, já que todas as substâncias geradas, que podem ser prejudiciais ou não, como fezes e urina, oxigênio gerado da fotossíntese pelas plantas e os restos dos organismos vivos são geralmente reutilizados ou reciclados por outros organismos, como os decompositores (24).

Após a Revolução Industrial, a sociedade iniciou um período de grandes desenvolvimentos tecnológicos e de grandes desperdícios. Os recursos da biosfera são utilizados como se fossem inesgotáveis, e a geração de resíduos intensifica-se, pelo volume de novos produtos artificiais que são produzidos para suprir a demanda cada vez maior (25).

Segundo dados do IBGE de 2002, no Brasil são gerados mais de 161 mil toneladas de lixo residencial por dia (Figura 9). Desse total, 76% foram dispostos a céu aberto (lixão), 13% alocados em aterros que recebem algum tipo de controle (cobertura periódica), 10% dispostos em aterros sanitários, 0,9% tratados em usinas de compostagem e 0,1% incinerados.

Estratos populacionais	Lixo	Produção per capita		
	Urbano (t/dia)	Lixo domiciliar (kg/dia)	Lixo público (kg/dia)	Lixo urbano (kg/dia)
Total	161 827,1	0,74	0,22	0,95
Até 9 999 habitantes	9 184,8	0,46	0,20	0,66
De 10 000 a 19 999 habitantes	11 473,1	0,42	0,16	0,58
De 20 000 a 49 999 habitantes	18 281,6	0,48	0,16	0,64
De 50 000 a 99 999 habitantes	14 708,1	0,56	0,15	0,71
De 100 000 a 199 999 habitantes	13 721,7	0,69	0,15	0,84
De 200 000 a 499 999 habitantes	21 177,3	0,78	0,14	0,91
De 500 000 a 999 999 habitantes	21 645,3	1,29	0,43	1,72
Mais de 1 000 000 habitantes	51 635,2	1,16	0,35	1,50

Figura 9. Disposição da produção per capita de lixo urbano. Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.

Na figura 9 é apresentado o volume de lixo coletado pelo tipo de destino final, segundo os extratos populacionais dos municípios no Brasil. Essa enorme quantidade de resíduos constitui uma séria ameaça ao homem e ao meio ambiente, diminuindo consideravelmente os espaços úteis disponíveis.

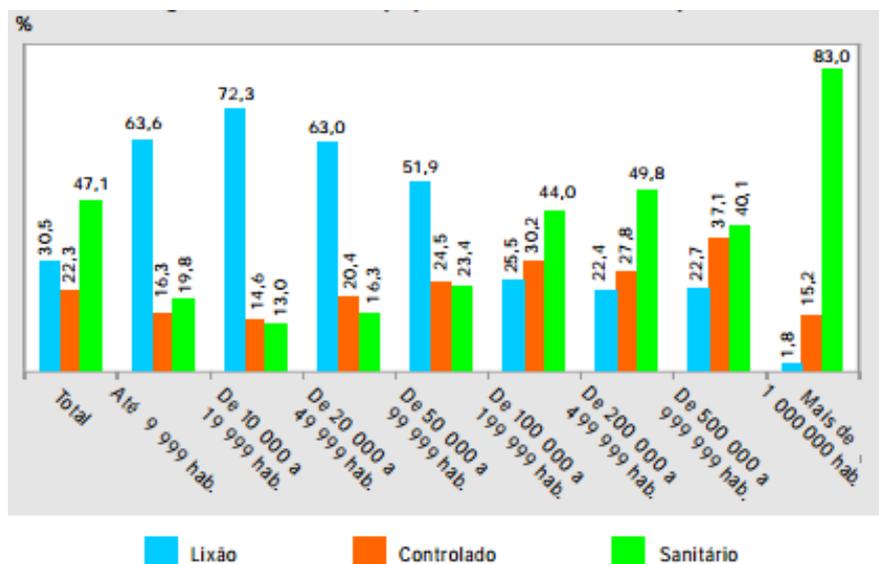


Figura 10. Percentual do volume de lixo coletado - 2000. Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000.

Assim, com o crescente aumento da disposição de resíduos foi aprovado, em 2010, o *Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*, que tramitava há 19 anos no Congresso, com o intuito de criar políticas nacionais para o gerenciamento dos resíduos gerados e padronizar a formação de locais para a disposição dos resíduos (26).

Outra problemática que se apresenta, é a geração e o tempo de vida de aterros. Já que a disposição de resíduos gera uma necessidade cada vez maior de espaços para receber esses volumes. Os aterros são divididos em controlados, nos quais o resíduo é disposto sobre o solo, havendo a poluição localizada do solo e das águas subterrâneas, já que não há impermeabilizante sob o solo, e sanitários, nos quais há a impermeabilização do solo e cobertura, não ocorrendo poluição e riscos a saúde pública (26).

Nem todo resíduo é disposto nos aterros, os lixões ou vazadouros são caracterizados pela disposição irregular de lixo sobre o solo sem proteções ou controle. Esse tipo de local acarreta em graves problemas a saúde pública, como a proliferação de vetores de doenças, geração de odores desagradáveis e poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas (26).

Os três principais métodos usados, normalmente, para diminuir o volume de resíduos sólidos aterrados em solo são: redução na fonte, reutilização, reciclagem de diferentes formas, incluindo a energética. Essas alternativas auxiliam o não esgotamento da capacidade dos aterros sanitários, contribuindo na preservação dos recursos naturais, como a energia elétrica, os insumos primários, etc (27).

3.5 Resíduos de embalagens e sua problemática

As embalagens acompanham os homens desde a antiguidade, onde as primeiras delas foram utilizadas, as conchas marinhas, as cascas de coco e de castanha. Sempre com o intuito de se conservar alimentos e água (28). Hoje em dia, as embalagens têm sido projetadas para proteger o produto, não gerando interação com o produto e conseqüentemente mantendo uma barreira inerte entre produto e ambiente (29).

As embalagens representaram 46% do mercado de termoplásticos em 2006. E com essa perspectiva, o volume de resíduos que são depositados nos aterros e lixões é muito grande, já que, a vida útil das embalagens, a vida de prateleira é muito curta, e seu uso na apresentação e acondicionamento dos vários produtos ofertados no mercado, é muito alto (30).

O crescimento do consumo das embalagens multicamadas, que triplicou entre 1995 e 2005, traz a problemática das embalagens serem produzidas com diferentes materiais, em vista de agregar as diferentes funcionalidades destes para a conservação dos alimentos e produtos.

A presença de diferentes materiais na composição deste tipo de embalagem dificulta a sua reciclagem, devido à necessidade de separação

destes materiais. Na figura 11, é demonstrada a composição de uma embalagem cartonada. As camadas são firmemente agregadas, para produzir um material firme e leve (30).

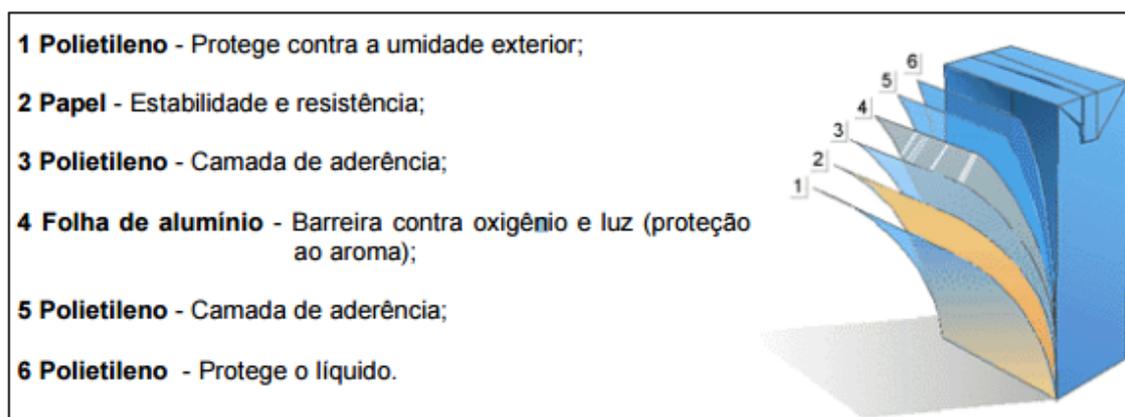


Figura 11. Estrutura básica de uma embalagem cartonada. Fonte: TETRA PAK – Disponível em: <http://www.tetrapak/Tetra>.

3.6 Reciclagem mecânica como alternativa

A reciclagem de embalagens multicamadas, sendo o processo de separação total dos insumos presentes, é difícil e muito onerosa, pois o material proveniente apresenta baixo valor de mercado, devido à presença de diferentes tipos de materiais fortemente aderidos entre si, e não custeia o processo em si, em dimensões médias.

Vários métodos para a retirada do polímero e do alumínio foram já estudados, mas o custo de operação e o valor final dos produtos obtidos comportam somente plantas de grandes dimensões. Outros métodos, como a recuperação energética do polímero e posterior aproveitamento do alumínio também foram estudadas (31).

O processo de reciclagem de uma embalagem multicamada cartonada pode ser vista na figura 12. Nesse processo, se separa o papel do alumínio e polietileno. O processo é utilizado pela indústria de reciclagem do

papel para a obtenção de material reciclado. E o material resultante é um material misto de PE e Alumínio, que pode ser triturado e prensado, injetado e extrusado, ou utilizado na recuperação energética e do alumínio.

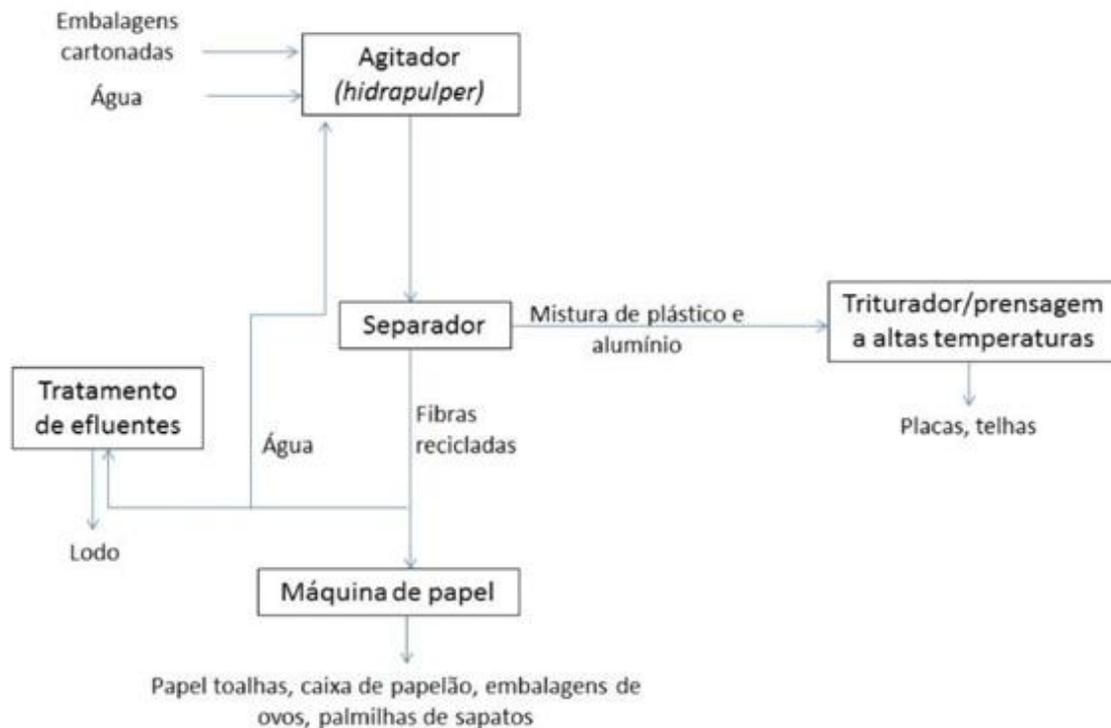


Figura 12. Representação esquemática da reciclagem de embalagens cartonadas. Fonte: <http://qnint.s bq.org.br/novo/index.php?hash=tema.44>

A fabricação de telhas e placas com o produto final da trituração tem baixo custo e apresenta oportunidades interessantes dentro do mercado da construção civil.

Assim, uma alternativa interessante para a reciclagem, é sua utilização da mistura de plástico e alumínio como insumo na fabricação de produtos, nos quais a mistura seja incorporada como um compósito simples, sendo a matriz o polímero, na maioria das vezes polietileno, e o alumínio a carga. Esse processo gera novos produtos e receitas, e auxilia na diminuição dos resíduos dispostos nos aterros (28).

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Materiais

Os materiais utilizados no presente estudo foram embalagens pós-consumo de: café, pasta dental e cartonadas laminadas, utilizadas para acondicionamento de leite.

As embalagens metalizadas, que são utilizadas para acondicionamento de café a vácuo são produzidas com camadas de politereftalato de etileno (PET), polietileno (PE) e alumínio (32). As embalagens de creme dental são produzidas de camadas de polietileno (PE) e alumínio (32). Já as embalagens cartonadas, que acondicionam leite, conforme descrito na seção 4.5, figura 11, são formadas a partir de camadas de polietileno (PE), alumínio e papel.

Na Figura 13 é apresentados dois fluxogramas das etapas da metodologia usada para produção das placas.

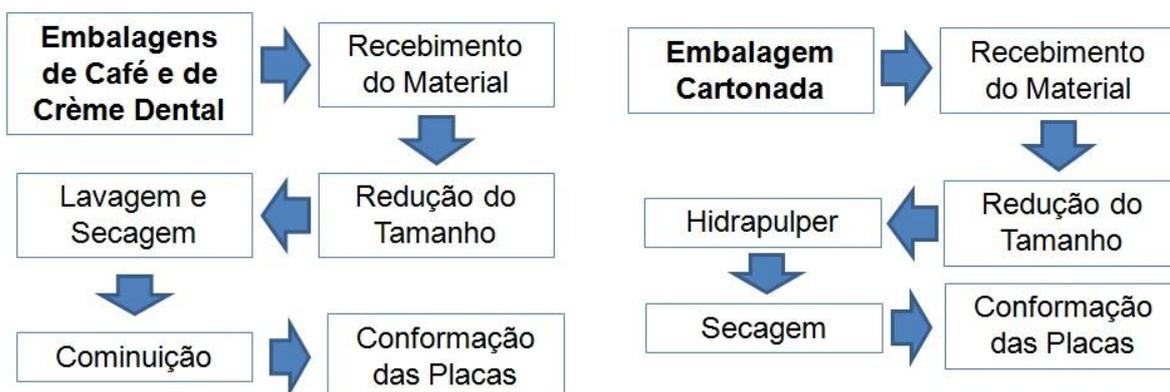


Figura 13. Fluxograma do processamento das embalagens pós-consumo.

Na Figura 14 são mostrados os materiais foram recebidos, lavados, para a retirada dos resíduos orgânicos, picados manualmente com tesoura, em tamanhos de 5 cm de comprimento e de largura, e, posteriormente, colocados para secar em estufa, por 24 horas, a 60°C.



Figura 14. Embalagens abertas: A - embalagem de creme dental; B - Embalagem de café; C - Embalagem cartonada para acondicionar leite.

Para a análise comparativa de propriedades, buscou-se no mercado telhas de polipropileno (PP) e de telhas de embalagem cartonada reciclada e fabricada em grande escala como mostrada na Figura 15.



Figura 15. Telhas comerciais: D – telhas fabricadas a partir de embalagens cartonadas laminadas pós-consumo; E – telhas de polipropileno (PP).

Na Tabela 2 é apresentada a simbologia das amostras usadas em este estudo.

Tabela 2. Relação dos materiais utilizados.

Material Utilizado:	Simbologia de identificação	Número da amostra:
Embalagem de Creme dental	EmbDental	De 1 a 10
Embalagem de Café	EmbCafé	De 1 a 10
Embalagem cartonada	EmbCart	De 1 a 10
Telha cartonada Comercial	TelhaCart	De 1 a 10
Telha de PP Comercial	TelhaPP	De 1 a 10

4.2 Metodologia

4.2.1 Sistema de cominuição de embalagens cartonadas: Hidrapulper

O sistema de hidrapulper adaptado, mostrado na figura 16, foi composto de: furadeira convencional; uma aste para misturar e balde plástico de capacidade de 18 litros.



Figura 16. Componentes do hidrapulper adaptado: A - Balde de 18 litros. B - Furadeira e haste. C - Sistema montado.

As embalagens cartonadas, após serem picotadas manualmente, foram processadas em um Hidrapulper adaptado com água (figura 17), onde o papelão desmanchou-se na água, que foi removido por filtração do filme alumínio/PE.

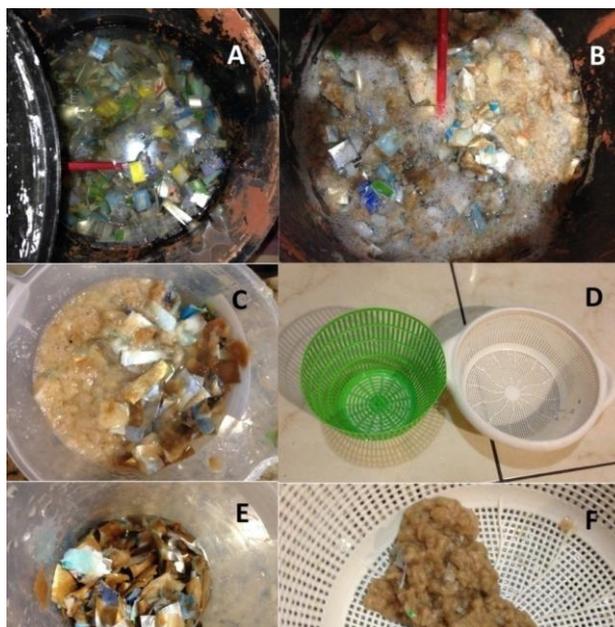


Figura 17. Material: A – após as 48 horas imerso em água, B - após 10 minutos no hidrapulper; C - retirado do hidrapulper; D - Peneiras utilizadas para a retirada do papel; E - após primeira filtração; F - Papel retirado da primeira filtração.

O material passou pelo procedimento descrito antes por mais 2 vezes. Então, se utilizou de um liquidificador comum para a retirada final do papel. O material resultante (filme de Al/PE) mostrado na Figura 18 foi então colocado em estufa por 24 horas, em 60°C, para a secagem.



Figura 18. Material aglutinado de alumínio/polietileno após hidrapulper e liquidificador.

4.2.2 Moagem final

Os materiais foram triturados num moinho de facas, marca Retsch, modelo SM 300 (figura 19), no qual foi utilizado grades de aberturas de 4 mm e 2 mm. O material da embalagem cartonada não foi triturado no moinho de facas, pois a granulometria resultante da trituração do liquidificador atingiu o tamanho esperado. Assim, as embalagens de café e pasta dental foram trituradas no moinho, separadamente.



Figura 19. Moinho de facas utilizado para a trituração

4.2.3 Processamento das placas: Conformação

A conformação é um processo mecânico no qual se obtém placas planas, através do aquecimento e da compressão do material polimérico em um molde, utilizando a deformação plástica do material para preencher a cavidade do molde.

Para a produção de corpos de prova, foram fabricadas placas, com os diferentes materiais triturados, através do processo de conformação a quente, utilizando a prensa da marca Solab e molde metálico de 15cm por 15cm (figura 20). Após, cortou-se as placas no tamanho especificado dos corpos de prova.

A temperatura utilizada no processo foi 200°C e a massa de material foi de 100 gramas por placa. O procedimento de fabricação foi: pré-aquecimento com 2,5 kgf por 10 minutos (para fusão do material); e mais 10 minutos de prensagem a quente com pressão de 10kgf, o resfriamento do molde foi com água corrente e desmoldagem.



Figura 20. Prensa hidráulica com aquecimento, marca Solab, modelo SL11

As placas com diferentes embalagens foram classificadas conforme tabela 2, no item 4.1. Para a avaliação das propriedades mecânicas os corpos de provas foram confeccionados, através do processo de corte.

4.3 Caracterização

4.3.1 Ensaio de Flexão

Os ensaios de flexão e o de impacto são importantes para o estudo da viabilidade dos materiais na aplicação de telhas. Isso se dá, pois os esforços aplicados no material consistem, basicamente, na flexão ocasionada por eventos ambientais tais como o vento, granizo, conforme a NBR 15310.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga crescente em determinado ponto de um corpo de prova. Foi realizado no Laboratório de Materiais Polímeros da UFRGS, no equipamento Universal marca Instron, modelo 3382 Dual Column Floor, célula de carga de 5kN (figura 21),. O ensaio foi realizado seguindo a norma ASTM D790-03, seguindo o método A, para corpos de prova mais espessos que 1,6mm.

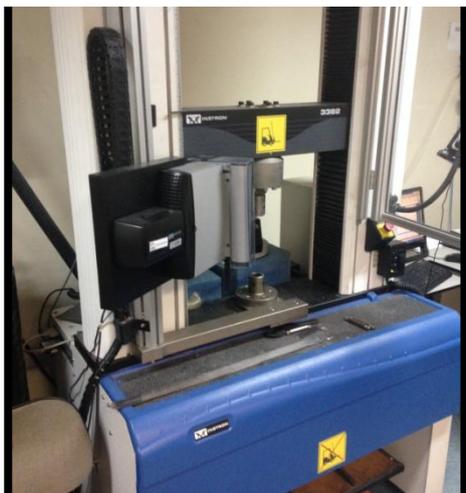


Figura 21. Equipamento de Ensaio mecânico Universal da Instron usado para ensaio de flexão.

4.3.2 Ensaio de Impacto

A resistência ao impacto é uma das propriedades mais importantes para classificar o comportamento de um material, principalmente de polímeros. Este tipo de ensaio fornece a capacidade que um material possui em absorver energia, ou seja, de suportar choques acidentais. Tal comportamento determina o sucesso ou não de um material em uma aplicação que seja exposta a tal tipo de acontecimento.

No ensaio de impacto analisa-se a energia necessária para romper o corpo de prova. Tal energia é fornecida pelas máquinas de ensaio e representa um balaço da energia cinética e potencial que o martelo é submetido.

Neste trabalho, a máquina de ensaio utilizada foi a CEAST 9050 da marca Instron, do Laboratório de Materiais Poliméricos da UFRGS, visualizada na Figura 22. A carga do martelo utilizada foi 2,75J. O ensaio seguiu a norma Izod ASTM D256-04. Foram ensaiados 6 corpos de prova por material.



Figura 22. Equipamento de ensaio de impacto.

4.3.3 Ensaio de Tração

O ensaio de tração fornece curva de tensão x deformação propiciando a obtenção de diversos parâmetros do material, um deles, o de distinguir o comportamento como dúctil ou frágil como mostrado na figura 23.



Figura 23. Equipamento de ensaios universal EZ-LX da marca Shimadzu.

Neste trabalho, foram produzidos 5 corpos de prova de acordo com a norma ASTM D3039, e o ensaio foi realizado no equipamento de ensaio universal modelo EZ-LX, da marca Shimadzu, da Oficina de Modelos e Protótipos da Faculdade de Arquitetura da UFRGS. O ensaio foi procedido com velocidade de 20 mm/min.

4.4 Ensaio de Absorção de Água

Nas condições de serviço, as telhas são expostas a água não destilada. Por isso se deve a importância da realização dos testes de absorção de água sobre os materiais com o intuito de se estudar a absorção de cada material.

O ensaio de absorção foi realizado de acordo com a norma ASTM D570, em uma temperatura de 25°C. Os corpos de provas ficaram em estufa para a secagem por 24 horas, foram pesados, e após, imersos em água. Depois das 24 horas de teste, foram secos por toalhas de papel, para absorver a umidade excedente, e foram pesados em uma balança de precisão (figura 24).



Figura 24. Imagem do teste de absorção de água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação do sistema Hidrapulper

O processo de desagregação e destaque realizado no presente estudo obteve resultados satisfatórios quanto à retirada do papel, separando-o do polietileno/alumínio presente nas embalagens cartonadas, nas diversas camadas das embalagens. Em processos industriais, o tempo de processamento em hidrapulper é de 40 minutos em média. O papel é bombeado e separado do material por meio de filtros.

Por falta do mecanismo de bombeamento, o material foi separado por filtração e recolocado no hidrapulper, sendo reprocessado em torno de 3 a 4 vezes. Cada processo durou em torno de 10 minutos. O processo como um todo, teve a duração de 40 a 50 minutos, sendo o processo final a passagem por liquidificador, que além da desagregação do papel, diminuiu o tamanho das partículas.

O processo teve resultados significativos. Não foi possível conseguir avaliar a quantidade de papel retirado. Segundo informação de empresa MW Ltda. de reciclagem de embalagens cartonadas, a quantidade recomendada de papel remanescente no material resultante do processo é em torno de 3%, em massa. Os fabricantes não fornecem estudos para essa avaliação. O material é analisado, basicamente, a olho nu e sua flexibilidade, que reduz com o aumento de fibras de celulose nas telhas (33).

O mesmo procedimento foi realizado no presente estudo. As placas tiveram boa flexibilidade e, a olho nu, não apresentaram fibras de papel visíveis (33).

5.2 Avaliação do processo de Conformação

A fabricação das placas de diversos materiais estudadas foi realizada sob os mesmos parâmetros de processamento de compressão térmica especificado no item 4.2.3 (pressão, tempo e temperatura), a exceção das placas fabricadas comercialmente com resíduo de polietileno/alumínio das embalagens cartonadas, onde foram usadas temperaturas menores, 160°C (5). Na Figura 25 são mostradas as imagens das diversas placas fabricadas com os diversos materiais usados. E na Figura 26 é mostrada a imagem de uma amostra de telha comercial com embalagens cartonadas recicladas.



Figura 25. Placas produzidas. A – embalagens de creme dental; B – embalagens de café; C – embalagens cartonadas.



Figura 26. Telha comercial de embalagens cartonadas recicladas.

Observou-se na maioria das placas moldadas uma direção preferencial do alumínio nas placas, do centro para as extremidades no molde. Fato que esta relacionada com a metodologia usada para alimentar o material moído no molde, onde este foi depositado, em sua maioria, no centro do molde

metálico, o que acarretou numa distribuição do material do centro para as extremidades.

No caso das telhas comerciais de embalagem cartonada, o material é depositado de forma homogênea no molde, diminuindo assim o escoamento direcionado do material. Na figura 27, é apresentada o tipo de prensa utilizada na fabricação dessas telhas (5).



Figura 27. Prensa para fabricação comercial de telhas de embalagens cartonadas (34).

Na fabricação das telhas comerciais, o material é depositado, sobre um filme de desmoldante, manualmente após ser triturado. A fabricação dos tapumes, com o mesmo material, é feita da mesma maneira, mas a prensa tem molde plano. Regula-se a espessura do material pela quantidade de material colocada (33).

5.3 Propriedades mecânicas

5.3.1 Avaliação da resistência a Flexão das placas

Nas Figuras 28 e 29 são apresentados os resultados de resistência a flexão e módulo de flexão até 5% de deformação do corpo de prova respectivamente das amostras EmbDental, EmbCafé, EmbCart, TelhaCart e TelhaPP.

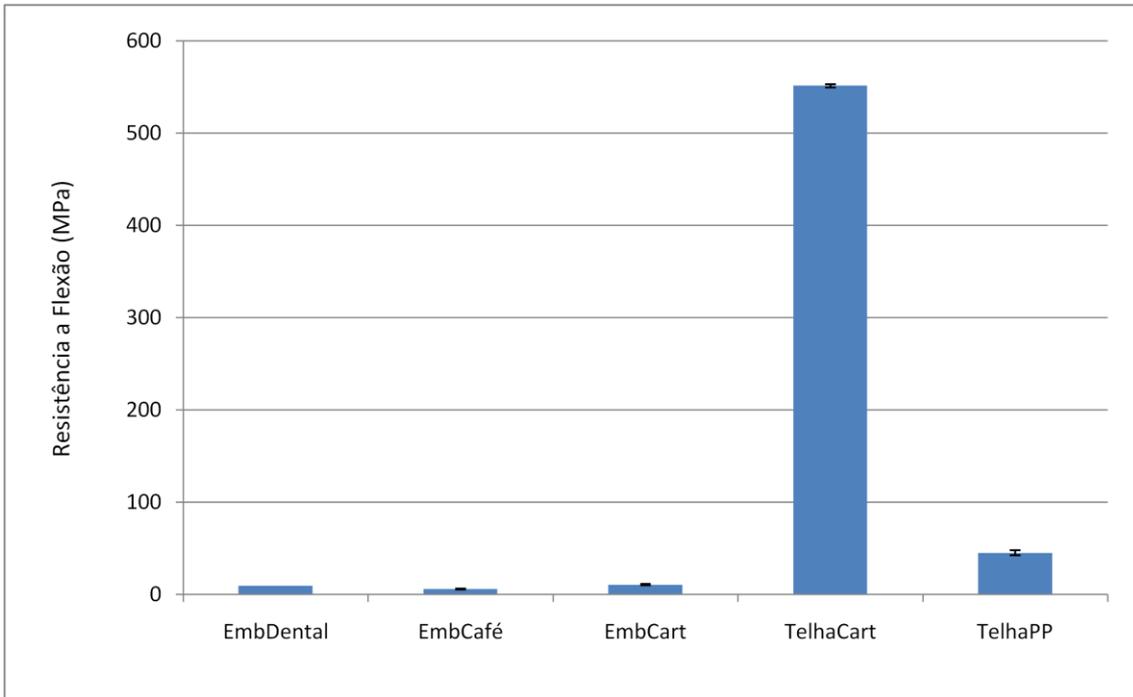


Figura 28. Resultados comparativos da Resistência à Flexão das amostras avaliadas.

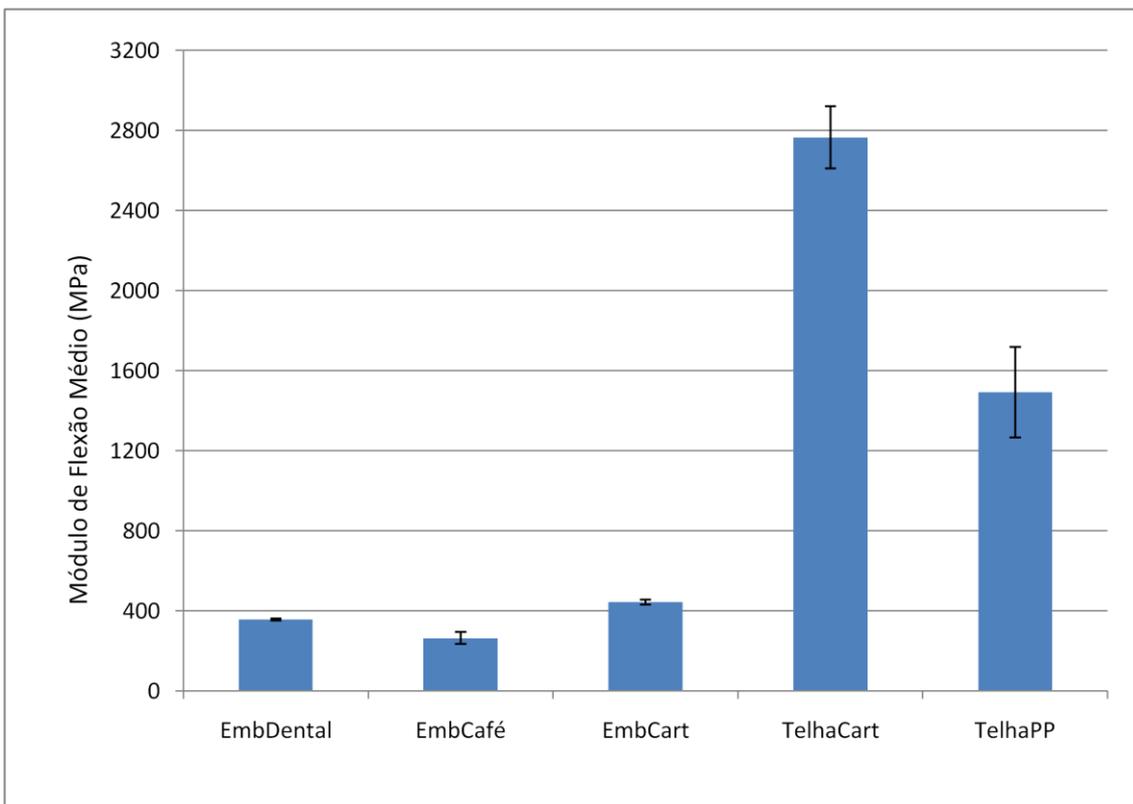


Figura 29. Resultados comparativos do Módulo de Elástico à Flexão das amostras avaliadas.

Observou-se que todas as amostras desenvolvidas apresentaram menor resistência e módulo a flexão quando comparadas as telhas comerciais

(cartonada e de PP), porém cabe ressaltar que entre as três amostras desenvolvidas, o módulo de flexão da amostra C destacou-se.

Na figura 30 é mostrada a imagem de um corpo de prova de cada amostra, após ensaio de flexão, onde não houve rompimento das amostras pois foi realizado até 5% de deformação do corpo de prova.

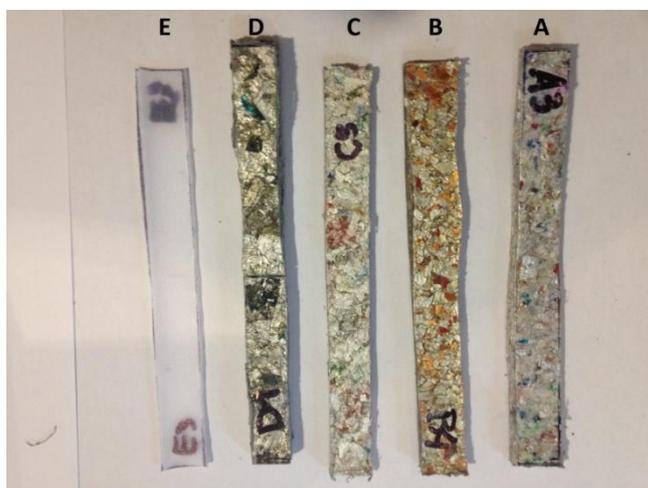


Figura 30. Corpos de prova após ensaio de flexão das amostras avaliadas: A - EmbDental; B - EmbCafé; C - EmbCart; D - TelhaCart; E - TelhaPP.

Verifica-se que a amostra TelhaCart, telha comercial de embalagem cartonada, tem a maior resistência à flexão e módulo de flexão, que depende das forças de interação entre as moléculas de polímero e do tamanho das macromoléculas. Fato que pode ser relacionado com o tamanho das partículas que são processadas, que pode gerar uma estrutura desordenada das cargas de alumínio. Assim, o material pode apresentar uma disposição mais randômica do alumínio (carga).

A amostra TelhaCart é fabricada com laminas do material sobrepostas e prensadas. Assim, pode-se avaliar que as camadas da matéria-prima se fundem umas sobre as outras, junto com o alumínio, dando robustez ao material quanto à flexão. Outra possibilidade pode ser a presença das fibras de papel em excesso, que não foram retiradas completamente no processo do hidrapulper. O papel pode agir como um reforço ao material, aumentando seus limites de resistência.

A amostra TelhaPP apresentou bom desempenho a flexão. O material é composto de Polipropileno puro, e possui boas propriedades de cobertura, sendo ele muito flexível.

5.3.2 Avaliação da resistência a Impacto

A resistência ao impacto é uma propriedade mecânica muito relevante para a determinação da aplicação do material. Na figura 31 é mostrado imagem de alguns corpos de prova antes e após ensaio de impacto, onde é possível observar que a amostra A (EmbDental) apresentou menor resistência ao impacto quando comparado as amostras EmbCafé e TelhaPP. Na amostra EmbDental, somente 1 corpo de prova rompeu. Na amostra EmbCafé, todos os corpos de prova romperam. No material TelhaPP, nenhum corpo de prova se rompeu.

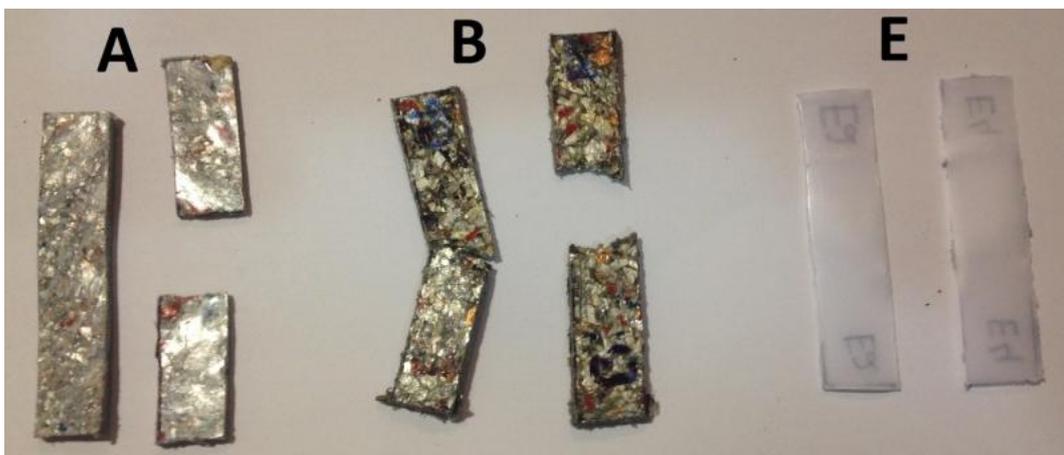


Figura 31. Imagem dos corpos de prova: A-EmbDental, B-EmbCafé e E-TelhaPP, após o ensaio.

Na imagem da Figura 32, a amostra EmbCart, 3 corpos de prova romperam e 3 não romperam. No material TelhaCart (amostra comercial), todos os corpos de prova romperam.

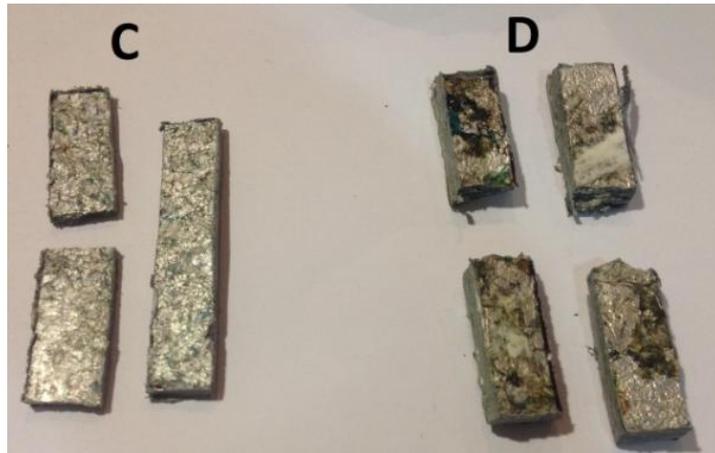


Figura 32. Imagem dos corpos de prova C- EmbCart e D-TelhaCart, após o ensaio.

Na Figura 33, os resultados são apresentados os resultados da capacidade de absorção de energia de impacto das amostras, onde pode se verificar que as amostras EmbCart e TelhaCart apresentaram os melhores resultados (maiores valores).

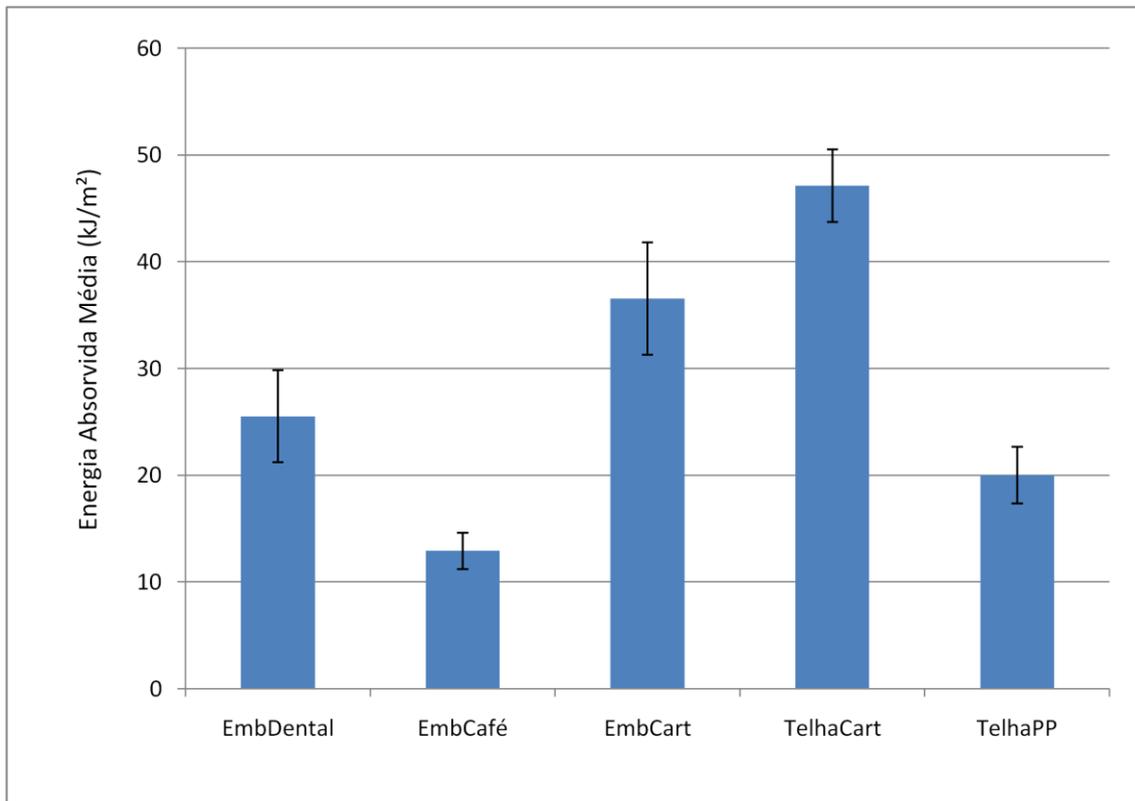


Figura 33. Resultados comparativos da Energia Absorvida ao impacto por material.

Os resultados indicam de o EmbCart teve um melhor desempenho, já que 3 corpos romperam, e na amostra TelhaCart todos romperam. Tal resultado pode ser avaliado pelo processo de fabricação tratado no item 5.2, que trata das camadas de material no material TelhaCart. Como o ensaio de impacto foi realizado na direção perpendicular as camadas de material, o material pode ter apresentado uma menor resistência que o material EmbCart, que teve a disposição das cargas mais dispersas.

Os corpos de prova EmbCafé apresentaram a menor resistência no ensaio, isso pode ser creditado ao fato que o material apresentou uma delaminação na área de rompimento, como mostra a Figura 34. As embalagens de café, material EmbCafé, são feitas de Polietileno (PE) e PET, que possui uma temperatura de fusão maior que o PE, em torno de 250°C para o PET e 112°C para PE (34).



Figura 34. Área de rompimento parcial do corpo de prova EmbCafé.

5.3.3 Avaliação da resistência à Tração

Na Figura 35, 36 e 37 são mostrados os resultados do ensaio a tração das amostras estudadas EmbDental, EmbCart e TelhaCart tais como a Tensão de Ruptura dos materiais, o módulo elástico e deformação máxima.

. O ensaio de tração foi realizado nos corpos de prova dos materiais EmbDental, EmbCart e TelhaCart. O material TelhaPP não foi analisada por

limitação do equipamento de ensaio. O material EmbCafé não foi possível efetuar análise, pois o equipamento não identificou o ponto de ruptura dos corpos de prova. Durante o ensaio de tração, houve delaminação no material, não havendo um ponto determinado de rompimento. A questão da presença do PET na composição da embalagem de café, conforme tratado no item 5.3.2, pode ser um indicativo do processo (33).

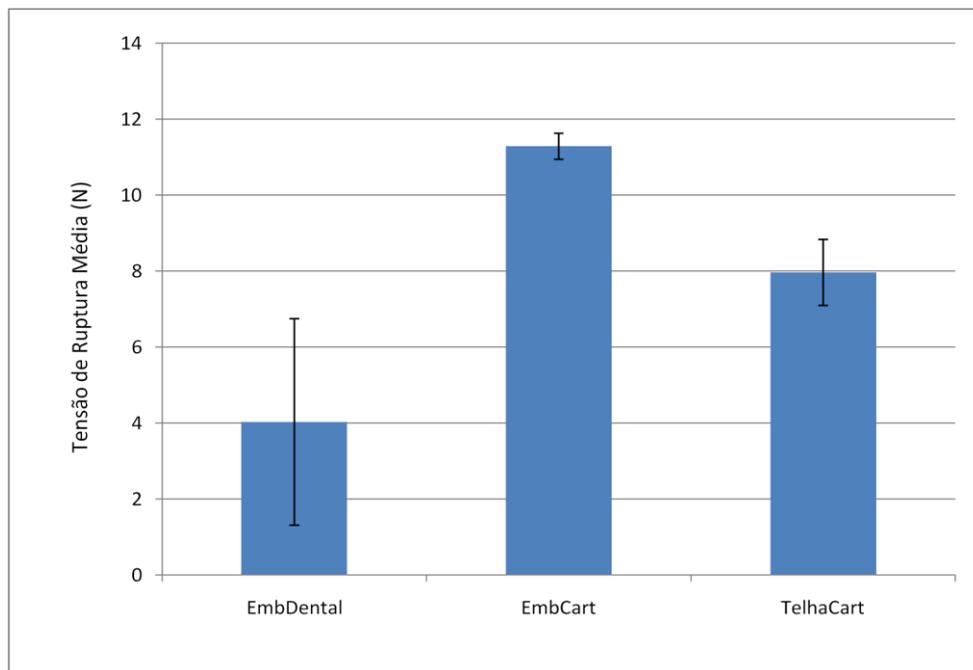


Figura 35. Resultados comparativos da tensão à tração na ruptura das amostras avaliadas.

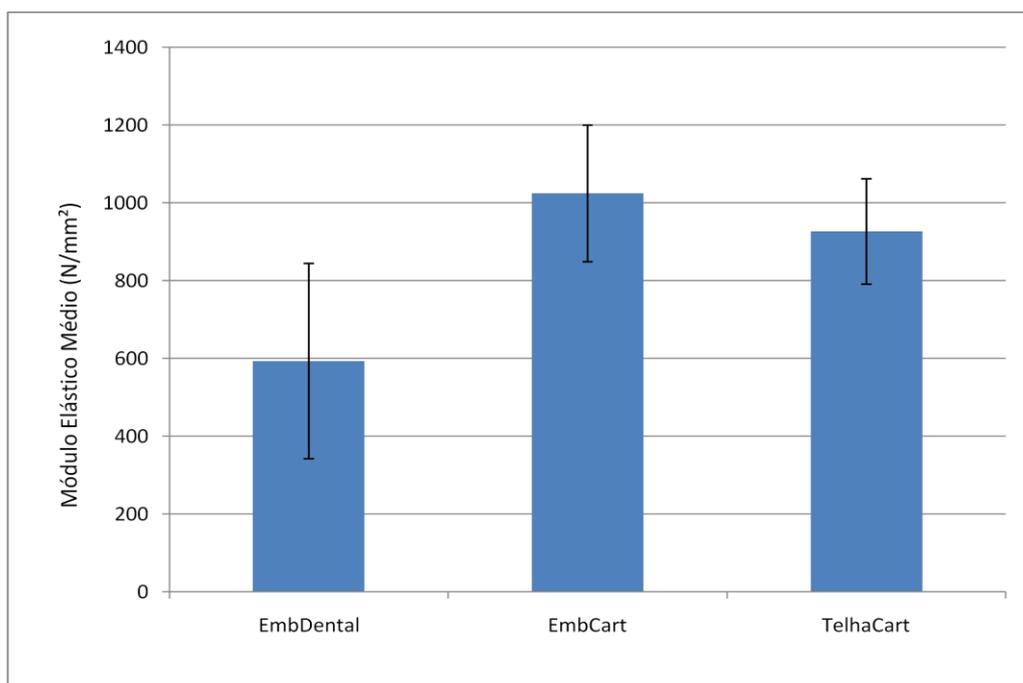


Figura 36. Resultados comparativos do módulo elástico das amostras avaliadas.

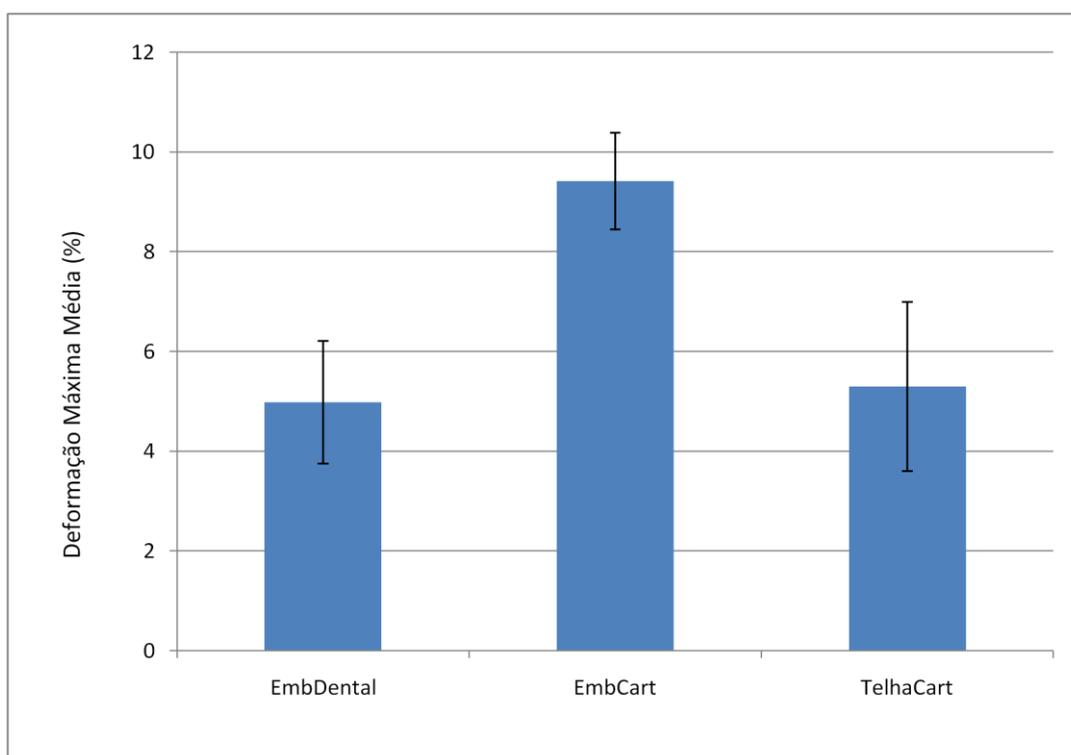


Figura 37. Resultados comparativos da deformação máxima das amostras avaliadas..

Assim, a comparação dos resultados indica que o material EmbCart teve melhor desempenho mecânico à tração. A tração não é um dos esforços mecânicos mais importantes para coberturas, mas pode indicar que o método de produção do material gerou maior robustez ao material da amostra EmbCart. Esse resultado pode indicar que a maior dispersão das cargas na amostra EmbCart, comparado ao TelhaCart, agregou maior resistência, perpendicular à força compressiva que o material recebeu durante a conformação (5, 33).

Como as duas amostras são do mesmo material, mas produzidas com diferentes parâmetros de granulometria e temperatura, o resultado indica que a adesão entre as partículas de polietileno, na amostra EmbCart, foi maior que na amostra TelhaCart.

A amostra A, composta de polietileno e alumínio, como a EmbCart e TelhaCart, porém apresentou resultados inferiores. Isso pode indicar que a presença de fibras de papel, como impureza, agregou resistência às amostras EmbCart e TelhaCart.

5.4 Avaliação da Absorção de Água

As amostras, nas condições de uso, estarão expostas as diversas condições climáticas nas estações do ano, desde calor, radiação e precipitação (chuva). Baseado neste último parâmetro climático se deve a importância da realização dos testes de absorção de água sobre os materiais estudados, com o objetivo de estudar as propriedades e a de absorção de água.

O ensaio cobre a determinação da taxa de absorção relativa de polímeros imersos em água. O cálculo da absorção é dado pela equação:

$$\text{Absorção de Água (\%)} = \frac{mf - mi}{mi} \times 100$$

mi = massa inicial da amostra

mf = massa final medida após as 24 horas

Na figura 38 são apresentados os resultados da percentagem de absorção de água das placas de diferentes materiais.

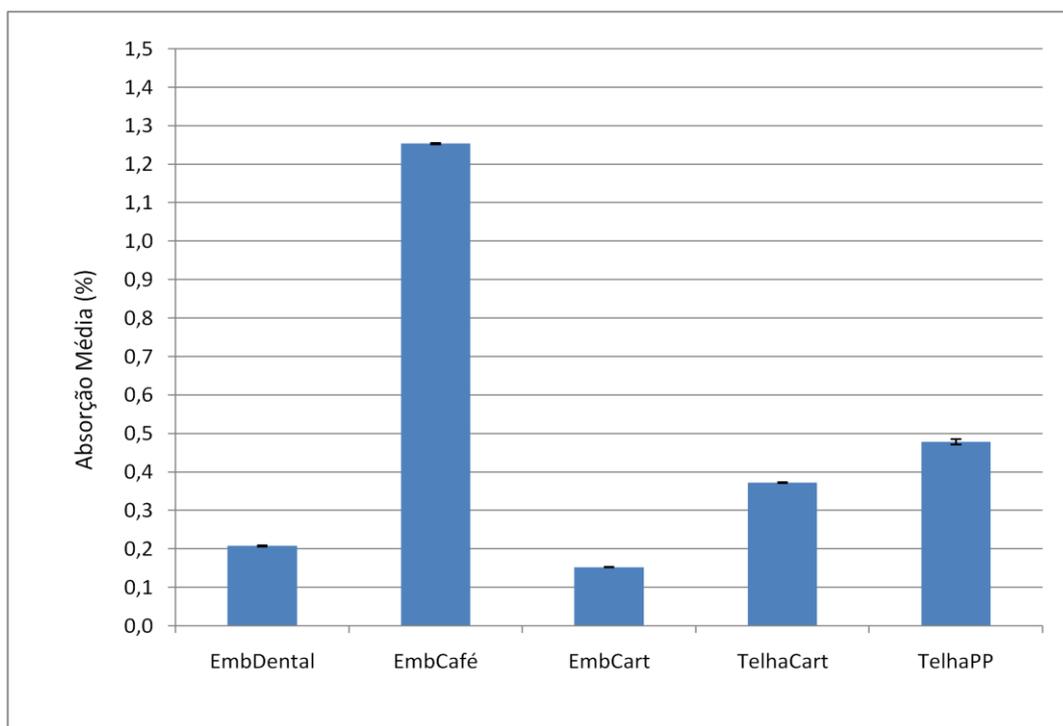


Figura 38. Resultados de absorção média de água nas amostras estudadas.

Os resultados demonstram que dentre as amostras, o material da amostra EmbCafé teve a maior absorção de água. Tal resultado pode ser indicado pelo fato observado no item 5.3.2, da presença de PET na composição da embalagem de café. Como a temperatura de fusão do PET é superior ao do PE, provavelmente, as partículas trituradas que formam as placas, não tiveram adesão plena entre si, formando vazios no interior do material. Esses espaços entre as partículas do material podem ter dado maior absorção no material, já que os corpos de prova foram cortados das placas, expondo os vazios. (33)

Os materiais das amostras EmbCart e EmbDental tiveram melhores resultados. Isso pode ser indicado pela temperatura de processamento, que foi maior que a do material TelhaCart. Com essa temperatura superior, o material tem menor viscosidade, preenchendo melhor os espaços no molde. E também, o tamanho das partículas, que na amostra TelhaCart é maior que nas outras amostras, pode indicar o aumento de vazios no material, absorvendo assim, mais água (34).

6. CONCLUSÃO

Através da análise dos resultados do material após o hidrapulper desenvolvido, conclui-se que o material resultante tem propriedades compatíveis com aquelas encontradas nos materiais processados pela indústria.

Através da análise dos produtos obtidos na conformação do material, pode-se concluir que as condições de processamento foram insuficientes para o material EmbCafé, produzidos a partir de embalagens de café. E, foram satisfatórias para o material EmbDental, produzido a partir de embalagens de creme dental, e o material EmbCart, produzido a partir de embalagens cartonadas.

Com relação aos resultados obtidos pelo ensaio de flexão, pode se concluir que, o material produzido em laboratório não apresentou bom desempenho mecânico do que o material comercial nas condições de ensaio e conformação apresentadas.

Os resultados obtidos pelo ensaio de impacto indicaram que o material de laboratório, amostras EmbCart, teve característica similar que aquele encontrado no comercial, amostra TelhaCart, mas com espessura 3 vezes menor. O material EmbCafé teve resultados não satisfatórios, ocorrendo delaminação no material.

Baseado nos resultados do ensaio de tração, realizado nas amostras EmbDental, EmbCart e TelhaCart, conclui-se que o material EmbCart teve maior desempenho mecânico, dentro das condições de ensaio. O material EmbCafé teve resultados insatisfatórios, não apresentando resultados que pudessem ser estudados, pois o material delaminou, e o equipamento não identificou o rompimento.

Os resultados do ensaio de absorção de água mostraram que os materiais, EmbDental e EmbCart, produzidos em laboratório, tiveram os melhores resultados, superiores aos materiais comerciais, TelhaCart e

TelhaPP. Os resultados apresentados ficaram dentro das especificações da norma NBR 13510.

Com base nos resultados obtidos com esse trabalho, pode-se afirmar que, avaliando pelos principais ensaios mecânicos requeridos para telhas, ensaio de flexão e impacto, os materiais produzidos em laboratório (EmbDental e EmbCart) apresentaram resultados menos robustos que o material comercial (TelhaPP), dentro das condições de processamento e ensaio apresentadas. Dentre os materiais de laboratório, o material EmbCart teve o melhor desempenho.

Avaliando os materiais por todos os ensaios realizados nesse estudo, o material EmbCart teve resultados satisfatórios frente ao material TelhaPP, apresentando maior desempenho a tração e absorção de água.

7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Testar os materiais em diferentes condições de processamento, especialmente o material de embalagens de café, pesquisando em diferentes temperaturas.
- Utilizar os diferentes materiais de embalagens multicamadas misturados para avaliar as propriedades resultantes.
- Realizar métodos diferentes de processamento, aglutinando e extrudando o material.
- Estudar a dispersão da carga de alumínio presente nas amostras.
- Estudar a quantidade de PET, PE e alumínio presente nas embalagens de café.
- Estudar a quantidade de papel resultante do processo de hidrapulper.
- Desenvolver um equipamento, hidrapulper, mais eficiente para a retirada de papel.
- Realizar ensaio de intemperismo nas placas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pesquisa nacional de saneamento Básico – PNSB - IBGE – 2000
2. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2012
3. Neto, Alberto G.V. de C.; Ganzerli, Thiago A.;Müller, Vinicius; Fávaro, Silvia L.;Muniz, Edvani C.; Radovanovic, Eduardo. **Reciclagem de Filmes Multicamadas ViaReação de Glicólise**. Trabalho apresentado no VXI Encontro de Química da Região Sul, Blumenau, SC, 2008.
4. Forlin, Flávio J.; Faria; José de Assis F. **Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas**. Revista Polímeros vol.12 no.1, São Carlos, 2002.
5. NEVES, F. L.; **Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak**. Revista 'O Papel' n° 2, pág. 38-45, 1999
6. Silva, Luciano Segundo da.**Evolução dos sistemas de coberturas utilizados no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo 2005.
7. GRIMMER, A.; WILLIANS, P. K. **A Brief Historyof Clay Roofing Tile**.2002.
8. ANICER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA. **Telhas Cerâmicas**. Manual técnico, Porto Alegre, 2000. 4p. (b)
9. BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e cerâmicos visando a certificação do produto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
10. Brasilit - **Manual de Telhas de Fibrocimento Brasilit**. Disponível em <http://www.brasilit.com.br>. 2013.
11. PEACOCKA. J. **Handbook of Polyethylene**. 2000
12. Coutinho , Fernanda M. B., Mello, Ivana L. e Maria, Luiz C. de Santa.**Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. **Polímeros**. 2003, Vol. 13.
13. VASILE, C. PASCU, M.- **Practical Guide to Polyethylene**. 2005
14. Araújo, Jorge Francisco de. 2010. **Estudo de propriedades mecânicas do propileno moldado por injeção em insertos de resinas**. Dissertação (Mestrado

em Engenharia). Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 107 p.

15. HARADA, J. 2004. **Moldes para a injeção de termoplásticos: Projetos e princípios básicos.** São Paulo-SP. Editora Artliber, p. 308.
16. MOORE Jr., E. P. - **Polypropilene Handbook.** 1ª edição, 1993.
17. Rodolfo Júnior, Antonio. **Tecnologia do PVC.** 2006. 2ª Ed. São Paulo. Proeditores, 448 p.
18. LeGrand, D. G. **Handbook of Polycarbonate Science and Technology.** New York. 2000
19. COUTINHO, T.A. - **Análise e prática - Metalografia de não ferrosos** - Editora Edgard Blucher
20. Piovesan, A. Z. e Valcarenghi, C. 2011. **Análise das propriedades físicas e mecânicas nas telhas de concreto fabricadas na cidade de Herval d'Oeste.** Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 19-30,
21. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13858:2** – Telhas de concreto – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
22. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7581-1:2014** – **Telha ondulada de fibrocimento – Padronização, Requisitos e Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
23. Schalch, Valdir; Leite, Wellington Cyro de Almeida; Fernandes Júnior, José Leomar; Castros, Marcus Cesar Avezum Alves de. **Apostila Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos.** Escola de Engenharia de São Carlos, USP. 2002.
24. Luiz, André; Correia, Bruno; Bequimam, Iracildes; Trindade, Mayara; Santos, Roberto; Orientador Prof. Msc: Alexandre Barreto. **Resíduos Sólidos: Uma revisão bibliográfica.** Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental da Faculdade Católica do Tocantins – FACTO. 2010
25. SCHRAMM, F. R., 1992. **Ecologia, ética e saúde: O princípio da responsabilidade.** In: Saúde, Ambiente e Desenvolvimento (M. C. Leal; P. C.

Sabroza; R. H. Rodrigues & P. M. Buss, orgs.), pp. 233-255, vol. 2, São Paulo: Hucitec/Rio de Janeiro: Abrasco.

26. Carvalho, Vera Christina Vaz Lanza André Luciano de. **Orientações básicas para operações de aterro sanitário**. Publicado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente/Projeto Estruturador Revitalização e Desenvolvimento Sustentável na Bacia do Rio São Francisco. 2006.
27. Daskalopoulos, E.; Badr, O. & Probert, S. D. - **Applied Energy**, 58, p.209 (1997)
28. Nascimento, Renata Mara de Moura; Viana, Marina Miranda Marques; Silva, Glaura Goulart; Brasileiro, Lilian Borges. **Embalagem Cartonada Longa Vida: Lixo ou Luxo?** Química Nova na Escola, n. 25, maio 2007
29. Azeredo, Henriette Monteiro Cordeiro de; Faria, José de Assis Fonseca; Azeredo, Alberto Monteiro Cordeiro de. **Embalagens ativas para alimentos**. Ciênc. Tecnol. Aliment. vol.20 no.3 Campinas Sept./Dec. 2000
30. Desiderá, Cassiane. **Blendas de poliamida reciclada e polietileno proveniente da recuperação de embalagens multicamadas**. Tese de Doutorado (Doutorado em Química). Curso de Pós-graduação em Química, Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2007
31. Santos, Amélia S. F.; Agnelli, José Augusto M.; Manrich, Sati. **Tendências e Desafios da Reciclagem de Embalagens Plásticas**. UFSCar. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 14, nº 5, p. 307-312, 2004.
32. Marques, André Canal. 2009. **Reciclagem de Filmes Plásticos Metalizados**. Artigo. Programa de Pós-Graduação em Materiais, Minas e Metalurgia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009
33. Cerqueira, Mario Henrique. **Placas e Telhas produzidas a partir de reciclagem do Polietileno / Alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak**. Tetra Pak. Folheto, 10p. Monte Mor. 2003.

34. Doak, K. W. – **“Ethylene Polymers”**. Em: Mark, H. M.; Bikales, N. M.; Overberg, C. G.; Menges, G. – “Encyclopedia of Polymer Science and Engineering”, John-Wiley & Sons, New York , Volume 6 (1986).