

5. Experimento, experiência e expressão

Este capítulo contempla os procedimentos adotados para a realização dos experimentos, bem como as etapas seguidas com as devidas descrições e percepções tanto objetivas quanto subjetivas obtidas ao longo do processo.

Entendemos que um dos caminhos mais promissores para pesquisas que visam impactos sócio-ambientais positivos é o da experimentação a partir de bases bem fundamentadas.

Este processo requer maior atenção e compreensão dos estágios que ele contempla. Experimento, experiência e expressão correspondem as três etapas que ocorrem de forma linear e complementar, são elas:

- A) Definição do processo, materiais e obtenção dos mesmos.
- B) Experiências realizadas com diferentes proporções e seleção.
- C) Produção de corpos de prova e ensaio de abrasão com o material.

O experimento é o momento de preparação. É a etapa que ocorre a seleção dos materiais necessários, escolha de métodos e descrição dos mesmos.

A experiência é a fase da vivência direta com o que foi planejado. É o momento da prática criativa e testar as possibilidades, é observar e questionar os primeiros resultados, anotar as dúvidas e realizar ensaios necessários para validação.

Por fim, a expressão é quando há a divulgação dos resultados, não só qualitativos e quantitativos, como também exprime as sensações e percepções da experiência vivenciada.

Portanto, seguindo a ordem descrita acima apresentaremos os dados da fase experimental nos subcapítulos abaixo. Ainda, as atividades experimentais e ensaios foram realizadas nas dependências da PUC, no LILD – Laboratório de Investigação de Living Design, no laboratório de Materiais Compósitos – DEMA – Departamento de Engenharia de Materiais; na oficina de madeira e metal do Departamento de Belas Artes – UFRJ e na oficina de madeira da empresa Materia Brasil.

5.1 Experimento

5.1.1 Materiais: poliuretano à base de mamona

O poliuretano pertence a um grupo de plásticos que aliam características de resistência com possibilidade de transformação. Tem graus termoplástico, elastoméricos e termofixos. São fáceis de espumar, cerca de 40% de todo o PU é transformado em espuma por mistura com um agente insulflador. O PU é um material versátil, podendo ser utilizado em diferentes segmentos industriais. Os usos típicos se dão desde alcochoados e assentos, embalagens, solas de calçados, pneus, engrenagens, para-choques de carros, adesivos, revestimentos resistentes à lavagem a seco, móveis, isolamento térmico, como também núcleo de pranchas de esquis e pranchas de “windsurfing”, entre outros. Suas principais vantagens são de resistência abrasiva, resistência a óleos e solventes, capacidade de suportar grandes cargas, resistência ao corte, resistência climática, abatimento sonoro, longa durabilidade e resistência elétrica. (ASHBY, 2011)

As resinas poliuretanas podem ser derivadas tanto do petróleo como de fontes naturais, e neste caso tem-se os chamados “biomonômeros” que podem ser obtidos de fontes renováveis, como os óleos vegetais. Estes óleos derivam de um número de vegetais, tais como, soja, milho, girassol, canola, amendoim, oliva e mamona, entre outros. (PETROVIC, 1999 Apud SILVA, 2003)

Segundo Dias (2005), há uma tendência mundial na procura de materiais biodegradáveis, não poluentes derivados de biomassa. Esta tendência alavancou as pesquisas com poliuretanos derivados de óleo de mamona, ampliando assim, novas perspectivas para o seu desenvolvimento. (ARAÚJO, 1992 Apud Dias, 2005)

Conhecida internacionalmente como “Castor Oil” e no Brasil por Caturra, a mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das euforbiáceas, de onde é extraído o óleo de mamona, também conhecido como óleo de rícínio. Esta planta é encontrada em regiões tropicais e sub tropicais, sendo muito abundante no Brasil. (DIAS, 2005)

Para este trabalho a resina que escolhemos é o P.U. de base vegetal (originado do óleo de mamona), recurso natural e renovável. Esta resina é bi-componente, formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (A) e um polioliol (B), e polimeriza-se por catalisação, formando uma membrana monolítica altamente impermeável e totalmente insolúvel em água. Em certas condições apresenta taxas elevadas de biodegradabilidade em menos de 6 meses.



Figura 31 – Poliuretano vegetal. Fonte: Acervo MateriaBrasil, 2011.

De acordo com o fabricante (Imperveg) a referida resina apresenta as seguintes características e propriedades físico mecânicas (ficha técnica):

- Densidade: 1,05 g/cm³;
- Consistência: fluida;
- Liberação de elementos tóxicos na atmosfera: Isento;
- Tempo de aplicação após a mistura: 10 a 20 minutos;
- Secagem ao toque: De 50 a 180 minutos, dependendo da temperatura ambiente;
- Resistência ao calor: apresenta perda de massa somente após 210°C;
- Tensão de ruptura à tração: 1,4 Mpa até 2,5 Mpa;

- Deformação admissível: 15% até 25%;
- Alongamento de ruptura: 8% até 50%;
- Módulo de deformação: 1,8 Mpa até 2,2 Mpa;
- Dureza (Shore D): 55 a 70.

Como sistema impermeabilizante a resina Imperveg UG132-A atende todas as recomendações prescritas na NBR 9575/2003 – “Impermeabilização – Seleção e Projeto”, sendo considerado como sistema moldado “in loco”, aderente ao substrato, podendo ser aplicado em diversas superfícies como concreto, argamassa, alvenaria, madeira e aço carbono.

A resina apresenta excelente resistência à ação do intemperismo, resistindo à água contendo substâncias agressivas, como sais, ácidos e álcalis, agindo em conformidade com a Norma ASTM C-267 “Chemical Resistance of Mortars Grouts and Monolithic Surfacing”, cujo objetivo é avaliar o desempenho dos concretos e argamassas quando estes são submetidos à ação de agentes quimicamente agressivos.

Por ser um material sólido (isento de solventes) pode ser aplicado em ambientes confinados, pois não libera vapores tóxicos. Atende à NBR 12.170 – Portaria 56, que define sistemas impermeabilizantes em contato com água potável, quanto a sua utilização em sistemas de tratamentos de água e reserva de água potável, atendendo plenamente aos padrões de potabilidade.

Atualmente a resina Imperveg é utilizada em diversos ramos da indústria da construção civil, tais como:

- Impermeabilização de reservatórios de água potável;
- Impermeabilização de Estação de Tratamento de água (ETA);
- Impermeabilização de Estação de Tratamento de Esgoto e Efluentes (ETE);
- Impermeabilização de bacias de contenção de produtos químicos;
- Impermeabilização de canaletas de efluentes e águas residuárias industriais;
- Impermeabilização de lajes expostas, ou, para posterior revestimento cerâmico;
- Impermeabilização de áreas molhadas em edifícios, fosso de elevador, muro de arrimo, tratamento de umidade ascendente, dentre outros;

- Revestimentos de substratos sujeitos a ataque de agentes químicos agressivos;

- Revestimentos de pisos industriais sujeitos a tráfego;
- Revestimento de tanques de aço carbono;
- Revestimento de madeiras em geral;
- Aglomerante para compósito de fibras vegetais e inservíveis.

Após averiguar as características e vantagens da resina apresentada, optamos por utilizá-la com exclusividade como matriz polimérica do compósito experimental que descreveremos posteriormente. A seguir, apresentamos os dados sobre o material usado para reforço.

5.1.2

Materiais: beneficiamento dos resíduos em partículas

O resíduo florestal não-madeireiro utilizado neste trabalho para constituir a fase de reforço do material compósito é oriundo da comunidade rural Uixi – calha do Rio Purus – Município de Beruri no Estado do Amazonas como relatado no capítulo anterior.

O material foi coletado pelos castanheiros (extrativistas de castanha) durante a colheita no período de safra nessa área no mês de janeiro de 2011. Depois, foi enviado via fluvial em barco de linha circular na região para recebimento em Manaus.



Figura 32 – Sacos com ouriço. Fonte: Anne Mello, 2011.

Recebemos os ouriços em quatro sacas de rafia de 50 quilos. Dessa quantidade realizamos uma inspeção prévia quanto ao grau de degradabilidade aparente do resíduo para seleção dos mais inteiros. O material chegou com sujidades, já que foi embalado sem nenhuma higienização após a coleta. O ouriço sempre é recortado nas trilhas e deixado no chão próximo das castanheiras, logo o material fica recoberto de terra.

Então fizemos uma lavagem e depois colocamos para secar expostos ao sol durante 4 dias. Verificamos que o ouriço apresenta alto grau de dureza, porém menos peso quando está mais seco.

Como esse material precisou ser transportado para o Estado do Rio de Janeiro para ser utilizado nos processos de experimentação nos laboratórios da PUC - Rio, resolvemos que a trituração dos ouriços deveria ser feito ainda em Manaus para viabilizar a logística do mesmo.

Conseqüentemente, após contato efetuado com o laboratório de materiais compósitos do programa de pós-graduação em engenharia de produção – UFAM, realizamos a trituração de 10 quilos de ouriço em um macro moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas, modelo MA680 – fabricante Marconi.



Figura 33 – Moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas. Fonte: Anne Mello, 2011.

Esse equipamento promove moagem em grandes volumes de plantas, folhas com talos, sementes, raízes, farináceos e vegetais com diâmetro máximo de 20mm através da ação de facas cortantes que provocam aumento na superfície de contato forçando as partículas menores a passarem através de peneira mesh 20/30 crivo circular.

O uso desse equipamento não é exclusivo de laboratório por possuir grande potência, é adequado também para trabalhos com fluxo contínuo e grande capacidade de produção.

Contudo, percebemos que a dimensão do ouriço não atendia aos requisitos do único moinho disponível na universidade. Esse momento foi um dos pontos de angústia no início da pesquisa, pois visando simplificar o beneficiamento do ouriço e ter baixo custo no processo produtivo do compósito, priorizamos utilizar processos artesanais. Contudo, a dureza do ouriço inviabilizava a sua transformação em pequenas partículas artesanalmente. Assim, nos deparamos com o primeiro impasse a respeito da inserção no processo produtivo o uso de maquinário que demanda energia e o mesmo ainda não supria a nossa necessidade.



Figura 34 – Trituração do ouriço. Fonte: Anne Mello, 2011.

Em consequência disto, voltamos a atenção para o ouriço e verificamos que a sua dureza e peso se dava de acordo com o grau de umidade que o mesmo apresentava, então quanto mais seco, mais quebradiço ele se tornava. Assim, após

deixar por mais dias secando, realizamos a quebra do material manualmente com o auxílio de uma marreta.

Procuramos quebrar o máximo possível para possibilitar a trituração no moinho utilizando a maior granulometria do equipamento, o mesh 20, cujo diâmetro de abertura é $\pm 0,841\text{mm}$.

Por fim, conseguimos realizar a trituração das partes quebradas e obter o ouriço em pó para ser realizada a sua caracterização e utilizado na confecção do material em formato de placas medindo 20x30cm.

5.1.3

Caracterização das partículas – análise em microscopia

A caracterização morfológica do material foi realizada no Laboratório de Microscopia Digital – PUC - Rio sob supervisão do Dr. Marcos Henrique com o intuito de verificar com maior detalhamento a forma e a superfície que as partículas apresentam.

Uma vez que o ouriço é um material lenhoso, após passar pela trituração, só conseguimos obter partículas irregulares, pois não é possível fazer um desfibrilamento em fios como em outros resíduos agrofloretais como por exemplo, coco ou pupunha.

Consequentemente, os dados obtidos nessa análise nos fornece informações e parâmetros para observar a aderência da resina com a partícula.

A microestrutura das partículas foi analisada por microscopia ótica digital e por microscopia eletrônica de varredura (MEV), acoplada a um EDS.

As amostras analisadas por MEV foram previamente metalizadas com ouro para tornar as partículas orgânicas e de origem vegetal, condutoras e passíveis de serem analisadas no microscópio eletrônico.

As imagens foram obtidas através de elétrons secundários, pois de todos os sinais do MEV, este é o mais usado por fornecer maior resolução, grande profundidade de campo, impressão tridimensional e fácil interpretação. Nessa análise foi utilizada uma tensão de aceleração do feixe de elétrons de 15 – 20kv. Regiões específicas das partículas foram analisadas por EDS, para determinar os elementos presentes.

5.2 Experiência

5.2.1 Métodos: manufatura das placas

Para produzir o material compósito decidimos realizar os experimentos sob o formato de placas medindo 20x30cm. Foram produzidas algumas placas com variações na mistura de matriz e reforço para analisar o comportamento das amostras a partir dos atributos físicos de sentidos: tato (quente, frio, macio, duro, flexível, rígido, liso, texturizado) e visão (oticamente claro, transparente, translúcido, opaco, reflexivo, fosco).

Como relatado anteriormente, o ouriço passou por um processo de beneficiamento para transformá-lo em partículas para ser utilizado como reforço da matriz de resina de mamona.

As partículas apresentam tamanho irregular apesar de possuírem uma granulometria média de acordo com o tamanho do mesh 30 usado no moinho durante a trituração. Além disso, a distribuição das partículas se deu de forma homogênea, isto é, as partículas foram distribuídas ao acaso constituindo uma massa que foi arrumada no molde da placa.

O molde utilizado foi confeccionado em madeira e revestido com uma placa de 1mm de polipropileno, material que não adere ao poliuretano e atua como desmoldante. Foi necessário produzir dois moldes, uma vez que o primeiro não estava com o revestimento colado de forma adequada e quando foi feita a primeira prensagem, ocorreu um vazamento de resina que ocasionou a colagem da tampa com o fundo pelas bordas gerando muita dificuldade para abrir a forma. Conseqüentemente, perdemos tanto o material quanto o molde, pois os danificamos ao utilizar ferramentas mais pesadas abrir o molde.

Já o segundo molde funcionou perfeitamente, tendo em vista que a lâmina de polipropileno foi colocada em todas as partes reforçadas com pregos além da cola utilizada na sua aplicação.

O processo de mistura da resina com as partículas e prensagem foi feito manualmente. Cada prensagem demorou no mínimo 6 horas à temperatura ambiente.



Figura 35 – Molde para placas. Fonte: Anne Mello, 2012.

As prensagens experimentais foram feitas em dois momentos. As primeiras foram feitas tanto para aprendermos o processo de preparo dos materiais como testar variações de proporção mássica. Na segunda leva reproduzimos as que apresentaram os melhores resultados.



Figura 36 – Processo da primeira prensagem. Fonte: Anne Mello, 2012.

A figura 36 ilustra a primeira prensagem que foi realizada para aprendermos o processo de preparo da resina e mistura com as partículas. Nessa experiência não calculamos o peso do material, apenas separamos uma quantidade similar para matriz e reforço de acordo com o tamanho do copo utilizado como recipiente.



Figura 37 – Primeiras placas experimentais. Fonte: Anne Mello, 2012.

Verificamos que a resina tem um tempo rápido de cura, a qual requer agilidade e rapidez durante o seu preparo e mistura com a fibra, bem como no momento da disposição da massa no molde. A figura 37 mostra o resultado das duas placas preliminares produzidas. Observamos que as duas apresentaram bastante rigidez, leveza, superfície lisa e semibrilhosa. Tais características dão uma aparência muito similar ao da madeira plástica, contudo o objetivo dos experimentos era obter um material com boas propriedades e características utilizando o máximo de fibra possível e menor quantidade de resina. Essa placa serviu como parâmetro para comparação dos atributos físicos.

A partir disso, foram produzidas diversas placas medindo 20x30x5cm e 20x30x1cm. Neste momento foram estudadas variações na composição com o propósito de analisar as características e propriedades das placas resultantes. As

proporções mássicas, partículas / matriz, experimentadas foram 50/50, 60/40 e 70/30. Ademais, houve variação também na densidade das placas: 900kg/m^3 e 1000kg/m^3 . De acordo com a norma de padrão internacional ANSI A208.1999, aglomerados de partículas de alta densidade apresentam valores acima de 800kg/m^3 .

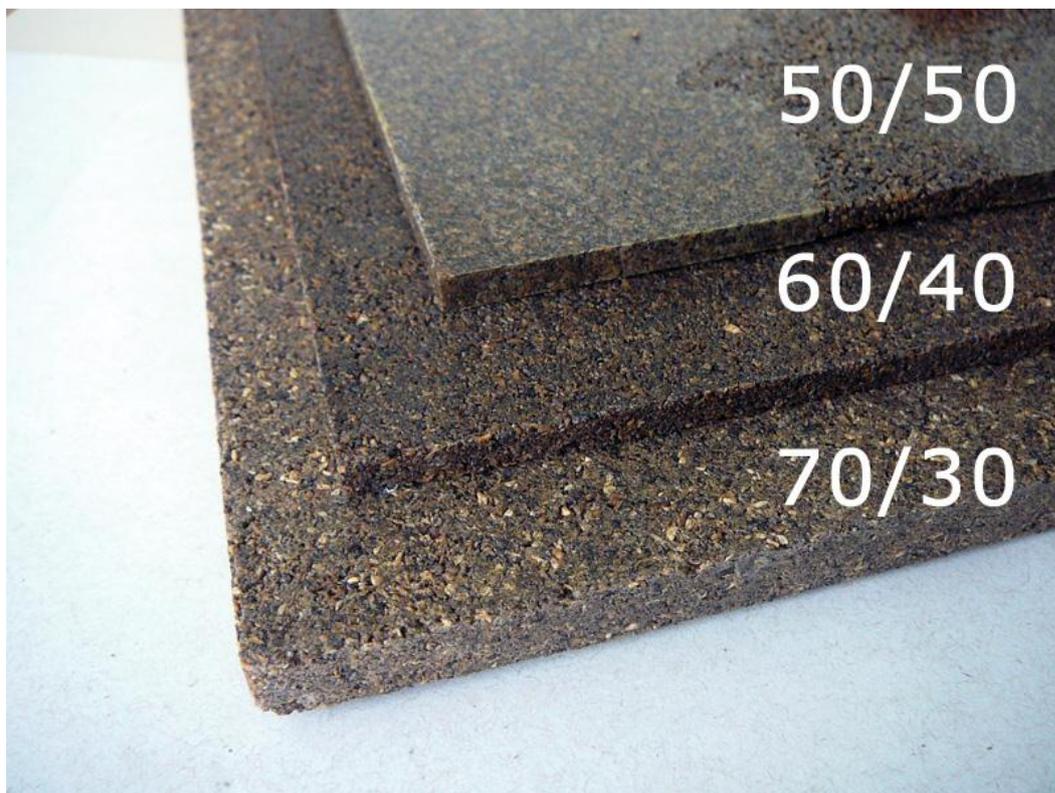


Figura 38 – Placas de ouriço de Castanha do Brasil. Fonte: Anne Mello, 2012.

As placas com diferentes proporções e espessuras foram analisadas a partir dos atributos táteis e óticos, tendo em vista que são de alcance dos sentidos e esse momento da experimentação não exige maior aprofundamentos técnico. O objetivo dessa análise foi fazer uma triagem das placas produzidas para chegarmos a uma proporção que valorizasse o uso das partículas em relação a resina tanto nos aspectos produtivos quanto estéticos. Abaixo, apresentamos duas tabelas com os atributos observados nos experimentos com as três proporções determinadas, duas espessuras diferentes e densidade de 900kg/m^3 .

TATO	Dimensões: 30x20x0,5cm Densidade: 900kg/m ³ Quantidade: 01 de cada			Dimensões: 30x20x1cm Densidade: 900kg/m ³ Quantidade: 01 de cada	
	50/50	60/40	70/30	50/50	70/30
Proporção	50/50	60/40	70/30	50/50	70/30
Liso	x			x	
Áspero		x	x		x
Duro				x	x
Flexível	x				
Rígido		x	x		

Tabela 02 – Atributos táteis. Fonte: Anne Mello, 2012.

Verificamos que a espessura influencia diretamente na resistência mecânica da placa, isto é, todas as placas com espessura menor apresentaram maior fragilidade à ruptura manual mesmo sendo rígido. Já as placas com 1cm de espessura se mostraram mais duras, inquebráveis manualmente. Além disso, a superfície do material ganha mais uniformidade com maior uso de fibras. Isso valoriza esteticamente o material, tendo em vista que é possível visualizar melhor as partículas e ainda apresenta aspereza ao toque, proporcionando maior aderência durante o manuseio.

Vale ressaltar que diante os resultados das primeiras placas produzidas com a espessura de 5 mm, resolvemos reproduzir somente as proporções 50/50 e 70/30 com espessura de 10mm para obtermos parâmetros limites de maior e menor uso de partículas no compósito.

VISÃO	Dimensões: 30x20x0,5cm Densidade: 900kg/m ³ Quantidade: 01 de cada			Dimensões: 30x20x1cm Densidade: 900kg/m ³ Quantidade: 01 de cada	
	50/50	60/40	70/30	50/50	70/30
Proporção	50/50	60/40	70/30	50/50	70/30
Oticamente claro	Não se aplica				
Transparente	Não se aplica				
Translúcido	Não se aplica				
Opaco	x	x	x	x	x
Fosco			x		x
Semibrilho	x	x		x	
Brilhante	Não se aplica				
Texturizado		x			

Tabela 03 – Atributos óticos. Fonte: Anne Mello, 2012.

Quanto aos atributos óticos, percebe-se que alguns aspectos da superfície do material também entram nessa categoria, uma vez que influenciam no gerenciamento da luz. Isto é, poucos produtos geram intensidade luminosa excessiva, mas muitos refletem a luz de modos que interferem na visão de quem está interagindo com o material. A refletividade de uma superfície depende do material de que ela é feita ou com o qual é revestido, e da lisura dessa superfície: ambas, cor e textura são importantes. (ASHBY, 2011)

No caso das placas acima, não foi utilizado nenhuma pigmentação nem outros produtos químicos ou processos para acabamento. Contudo, a resina de mamona também tem propriedades que permite a sua utilização como

revestimento em superfícies externas. Logo dependendo da quantidade de resina utilizada como aglutinante e superfície do molde, é possível obter diferentes tipos de acabamentos, desde os mais brilhosos até texturizados.

Então, percebemos que cada proporção apresentou superfícies diferentes. As placas feitas com proporção 50/50 apresentaram maior brilho em contraponto as que foram produzidas com maior quantidade de partículas resultando em superfície fosca. Observamos também que o processo de mistura dos materiais influencia no resultado da superfície, pois notamos que mesmo após a prensagem, onde espera-se que pontos de resinas mal misturadas se dissolvam entre as partículas, algumas placas apresentaram superfície irregular, ou seja, pontos com mais brilhos que demonstra presença de maior resina e pontos mais foscos, como pode ser observado na figura abaixo.

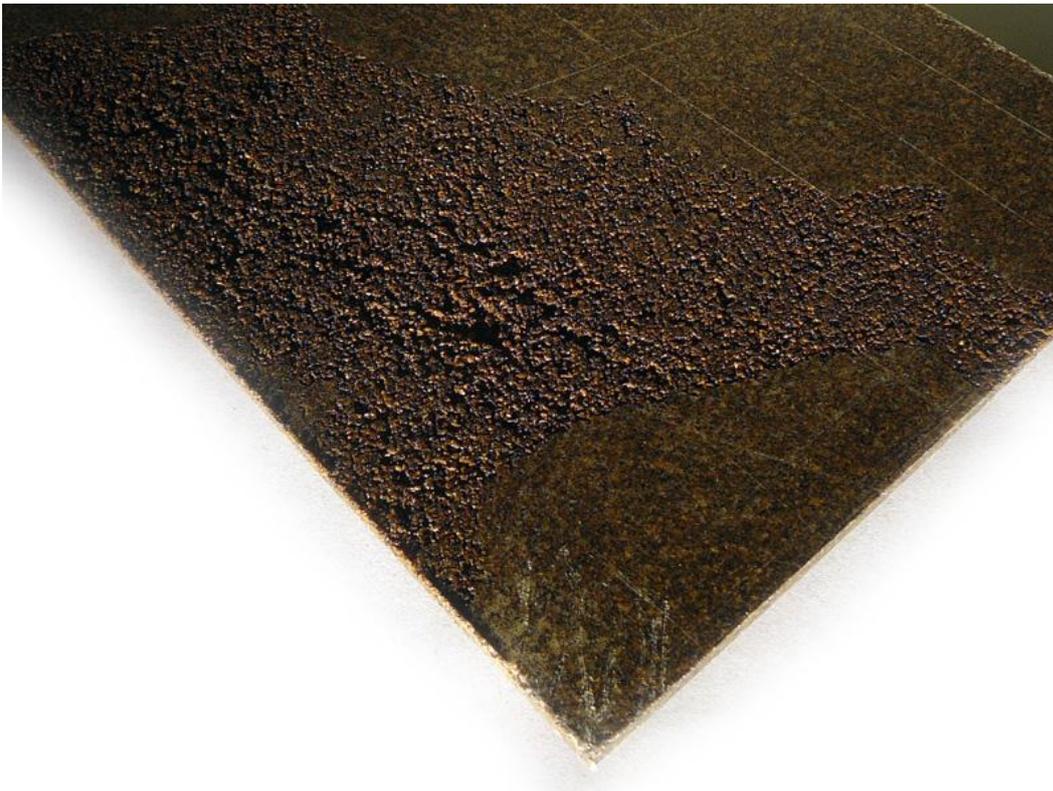


Figura 39 – Placa com superfície irregular. Fonte: Anne Mello, 2012.

A presença de reforço em polímeros diminui a qualidade ótica relacionados a passagem de luz. (ASHBY, 2011) Logo, certificamos que todas as placas apresentaram-se opacas independente da proporção utilizada.

Conseqüentemente, após essa análise, verificamos que a proporção 70/30 foi a que mais se adequou aos requisitos desejados. Visto que faz maior aproveitamento de resíduo e utiliza menor quantidade de resina gerando economia no processo produtivo. Esteticamente, apresenta uma superfície uniforme, lisa e fosca. Além disso, acreditamos que a partícula aparente dá mais personalidade ao material. Ainda, apresentou boa resistência mecânica e dureza. Assim, o segundo momento de experimentação se deu com a reprodução dessa proporção com densidade e espessura diferente.

As figuras abaixo apresentam resumidamente o processo vivenciado durante esta fase da experimentação. Já com maior familiaridade com os materiais, conseguimos fazer o preparo da resina com mais calma e atenção para saber o ponto certo de realizar a mistura com as partículas.



Figura 40 – preparação de placas na segunda etapa de experimentos. Fonte: Anne Mello, 2012.

Para o preparo da resina é necessário mexer sem pausa e não deixar embolotar durante a mistura com as partículas. Isto é, mexer as partículas de forma que vá absorvendo a resina integralmente, tornando uma massa homogênea.

Observamos que as primeiras placas apresentavam superfícies irregulares devido à rapidez no momento de mistura e falta de maior cuidado na hora da distribuição da massa no molde. Então, nesse segundo momento, decidimos colocar a mão na massa literalmente. Dessa forma, conseguimos sentir as pequenas bolotas de resina que se formam na hora que a resina está sendo adicionada em cima das partículas secas. E sob amassos e pressão manual foi possível desfazê-las para deixar a massa encharcada por completo. Além disso, percebemos que mesmo demorando minutos a mais nesse processo, conseguimos trabalhar com a massa com facilidade e tranquilidade sem chegar ao tempo limite de endurecimento da resina.



Figura 41 – Mistura e moldagem da massa. Fonte: Anne Mello, 2012.

Durante a distribuição da massa no molde foi necessário fazer uma breve agitação para que a massa assentasse de maneira regular. Em seguida, utilizando

uma espátula e um pequeno suporte de madeira fizemos o nivelamento da superfície pressionando levemente.



Figura 42 – Acabamento e prensagem. Fonte: Anne Mello, 2012.

Após realizar o acabamento da superfície, levamos o molde para prensa manual e deixamos por 6h. Ao final, retiramos a placa com facilidade, uma vez que o molde possui revestimento antiaderente e o refoçamos com cera desmoldante. O tempo gasto no preparo dessa placa foi no máximo de 1h. É um processo com baixa tecnologia empregada que demanda pouco tempo na fabricação, fácil de aprender e não requer uso de muitas ferramentas.

O processo descrito acima foi repetido algumas vezes para a fabricação das placas de proporção mássica 70/30 com densidade 1000kg/m^3 para realizar última triagem e análise comparativa com as placas de 900kg/m^3 para definição de qual seria utilizada em corpos de prova no ensaio de abrasão.

Portanto, produzimos 03 placas medindo $300 \times 200\text{mm}$ com densidade 1000kg/m^3 nas espessuras de 3, 5 e 10mm. Abaixo seguem imagens e descrições do processo.



Figura 43 – Placa com 3mm de espessura. Fonte: Anne Mello, 2012.

Apesar de termos determinado duas medidas padrão (5 e 10mm) para produção experimental das placas, decidimos testar a espessura de 3mm no intuito de obter um material mais dúctil para ampliar as opções de usos. Como o molde foi produzido para conformar a espessura mínima de 5mm e máximo de 10mm, utilizamos como suporte uma lâmina de pvc com 2mm de espessura no momento da prensagem. No entanto, a placa aderiu a lâmina de suporte e quando começamos a fazer a descolagem, o compósito soltou de forma esfarelada.



Figura 44 – Placa com 5mm de espessura. Fonte: Anne Mello, 2012.

A figura 44 mostra a placa de 5mm que se destacou entre as três experimentadas, pois foi a única que conformou apresentando leve rigidez. Contudo, também se mostrou quebradiça.



Figura 45 – Placa com 10mm de espessura. Fonte: Anne Mello, 2012.

Já a figura 45 apresenta a placa com 10mm de espessura que se quebrou em vários pedaços no momento da desmoldagem. A massa pareceu ter ficado seca, esfarelado com muita facilidade.

Abaixo, seguem as tabelas com a análise dos atributos de sentidos. Quanto aos atributos táteis, verificamos que a densidade não influenciou na textura superficial do material, ou seja, todas as placas apresentaram formato regular com superfície fosca em ambas as faces e áspera ao toque devido a natureza rugosa das partículas que na proporção 70/30 fica aparente. No caso das outras proporções, a resina formou uma película que tornou a superfície mais lisa proporcionando menor aderência no toque. Além disso, as placas de 3 e 10mm quando estavam dentro do molde apresentaram superfície regular e aspereza, mas quando desmoldadas ficaram quebradiças, logo não alcançaram nenhum grau de resistência e durabilidade.

TATO	Proporção 70/30 Dimensões: 300x200mm Quantidade: 01 de cada				
	900 kg/m ³		1000 kg/m ³		
Espessura	5mm	10mm	3mm	5mm	10mm
Liso	Não se aplica				
Áspero	x	x	x	x	x
Duro		x			
Flexível	Não se aplica				
Rígido	x			x	

Tabela 04 – Atributos táteis. Fonte: Anne Mello, 2012.

VISÃO	Proporção 70/30 Dimensões: 300x200mm Quantidade: 01 de cada				
	900 kg/m ³		1000 kg/m ³		
Espessura	5mm	10mm	3mm	5mm	10mm
Oticamente claro	Não se aplica				
Transparente	Não se aplica				
Translúcido	Não se aplica				
Opaco	x	x	x	x	x
Reflexivo	Não se aplica				
Brilhante	Não se aplica				
Fosco	x	x	x	x	x
Texturizado	Não se aplica				

Tabela 05 – Atributos óticos. Fonte: Anne Mello, 2012.

Quanto aos atributos óticos todas as placas apresentaram resultados similares. Apesar de não termos utilizado nenhuma pigmentação, a resina de mamona naturalmente possui cor mais amarelada, logo houve diferença nos tons das placas de acordo com as proporções experimentadas. Quanto mais resina utilizada, mais escura a tonalidade da placa.

Por fim, entendemos que as placas produzidas sob a densidade de 900kg/m^3 apresentaram os melhores resultados quanto a conformação e resistência. Ao aumentarmos a densidade, perdemos o ponto de liga da massa, pois as 3 placas resultantes dessa experimentação apresentaram - se mais secas, quebradiças e até esfarelentas. Contudo, vislumbramos que a placa de 5mm possa ser utilizada como recheio de material sanduíche já que apresentou melhor conformação e com a aplicação de um revestimento em ambas as faces pode ganhar maior resistência.



Figura 46 – Placa 70/30 – 900kg/m^3 - $300 \times 200 \times 10\text{mm}$. Fonte: Anne Mello, 2012.

Em consequência disto, optamos pela proporção 70/30 com densidade de 900kg/m^3 para darmos continuidade no estudo de viabilidade técnica do material. Ou seja, o processo de experimentação ocorreu de forma livre e focado principalmente no comportamento dos materiais constituintes do compósito. Não

determinamos inicialmente um objetivo final de uso ou aplicação do material para que posteriormente a partir de dados mais concretos fosse possível indicar usos e aplicações para o compósito produzido por essa pesquisa.

É sabido que no campo da engenharia de materiais há diversos tipos de ensaios para caracterizar um material. Estes ensaios atendem normas específicas e servem para medir e qualificar propriedades que influenciam diretamente na usabilidade e aplicabilidade do material.

Alguns ensaios básicos são abrasão, flexão, adesão / cisalhamento, envelhecimento UV e absorção de água. Para essa pesquisa, optamos fazer somente o de abrasão devido a acessibilidade e rapidez no processo.

5.2.2 Ensaio de abrasão

O ensaio de abrasão é um teste de desgaste que verifica a resistência à abrasão provocada pelo tráfego nos agregados de uma mistura. (PANITZ, 2003) É considerado essencial para materiais, cuja aplicação destina-se a pisos e revestimentos. (OLIVEIRA, 2011)

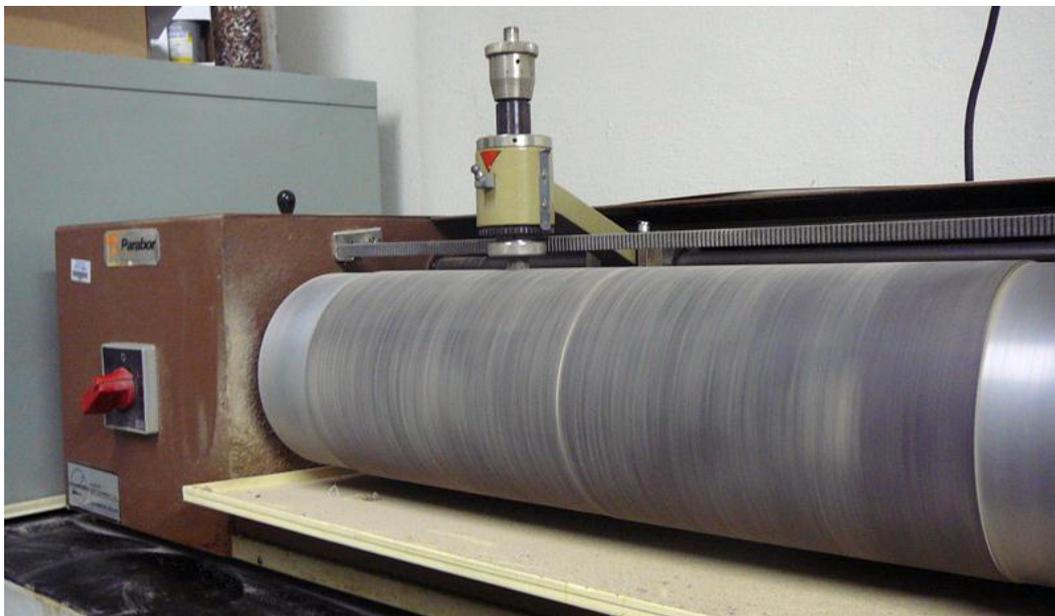


Figura 47 – Abrasímetro. Fonte: Anne Mello, 2013.

O ensaio de resistência à abrasão foi realizado conforme as recomendações da norma DIN 53 516 e consistem em determinar a resistência do material ao

desgaste, em um abrasímetro, para um percurso estimado de 40 metros. Isto é, este ensaio simula o araste de um determinado objeto sobre um piso acabado.

O teste de abrasão foi feito no Laboratório de Compósitos da PUC-Rio, utilizando uma lixa (grânulos de areia) número 60 em um abrasímetro AP – 40, mostrado na figura 47.

Para confecção dos corpos de prova, as placas de compósitos com espessura de 20mm foram cortadas em blocos de 2 x 2 cm, e em seguida torneados até alcançarem a forma cilíndrica, com diâmetro de 16mm e altura de 1,5cm, conforme mostrado na figura 48. A resistência à abrasão foi calculada em função da perda de massa sofrida pelo material para o percurso de 40 metros.



Figura 48 – Copos de prova para ensaio de abrasão. Fonte: Anne Mello, 2013.

5.3 Expressão: Resultados e discussão

5.3.1 Análise microestrutural (MEV/EDS) – ouriço da Castanha do Brasil

As primeiras análises microestruturais do ouriço da Castanha do Brasil foram feitas usando imagens por microscopia ótica digital. Observamos a morfologia do ouriço a partir de pedaços como também partículas que foram obtidas através da moagem em moinho elétrico.

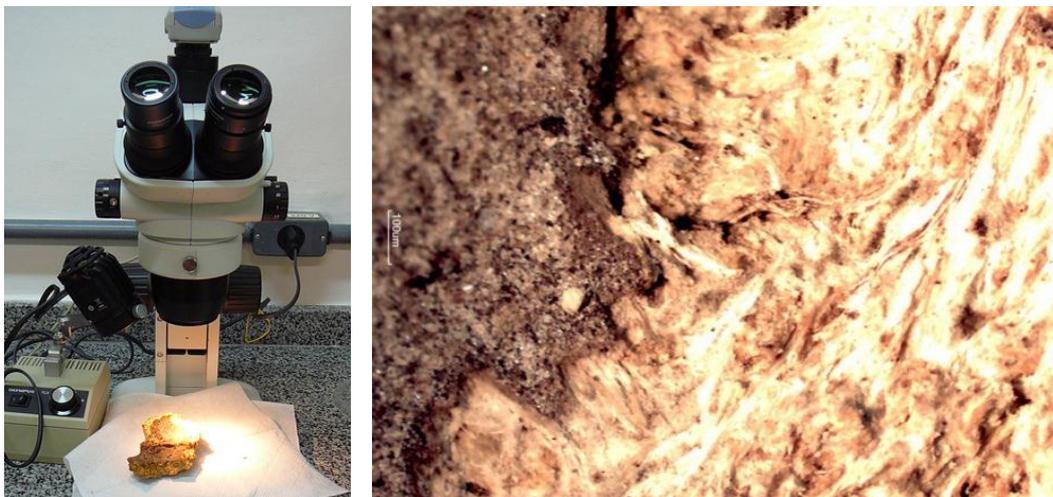


Figura 49 – Fatia de ouriço em análise microscópica. Fonte: Anne Mello, 2011.

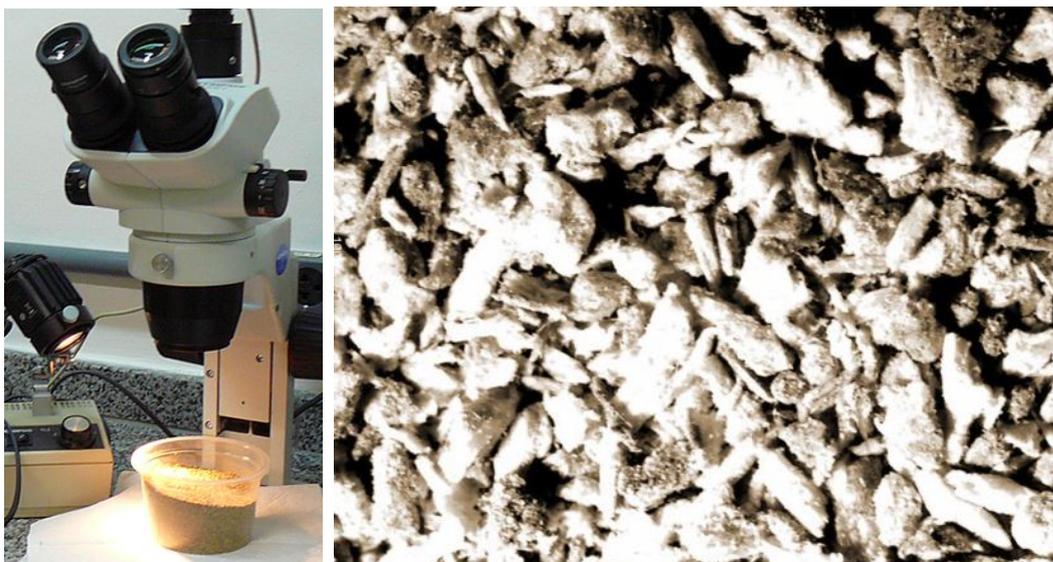


Figura 50 – Partículas de ouriço em análise microscópica. Fonte: Anne Mello, 2011.

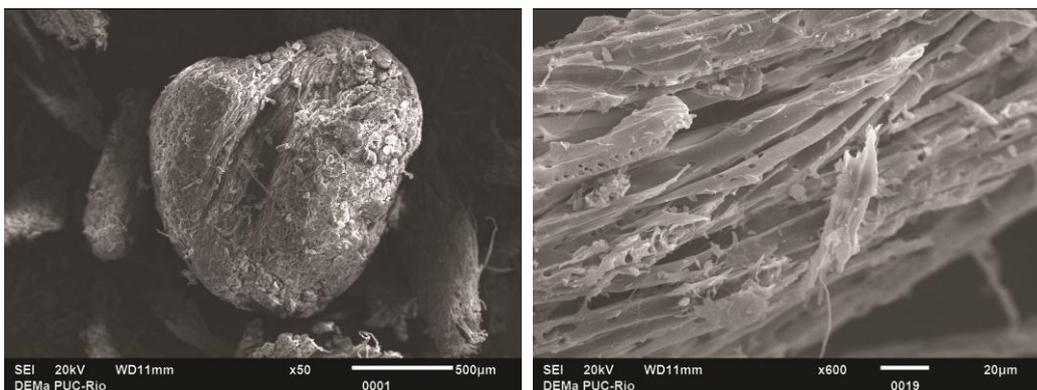
Notamos que a constituição do ouriço é semelhante ao endocarpo do coco, ou seja, é uma camada mais dura similar a madeira e não possui feixe de fibras. A área mais escura é a face externa e a área mais clara é a parte interna, conforme mostrado na figura 50. Sua função é proteger as sementes, por isso é tão resistente.

A figura abaixo mostra a morfologia das partículas após o processo de trituração. Elas foram classificadas como irregulares, pois não foi possível associá-las as geometrias regulares existentes. Além disso, no endocarpo há uma camada superficial mais escura que não é retirada, isso faz com que as partículas tenham uma variação na sua cor. Uma das vantagens dada pela irregularidade da forma, mesmo possuindo uma média padrão na granulometria, é facilidade de acomodação das partículas no momento da conformação preenchendo os espaços vazios no compósito.



Figura 51 – Partículas do ouriço. Fonte: Anne Mello, 2011.

Na sequência, realizamos análises com as partículas usando o microscópio eletrônico de varredura (MEV). As figuras x (A) e (B) ilustram o aspecto geral das partículas.

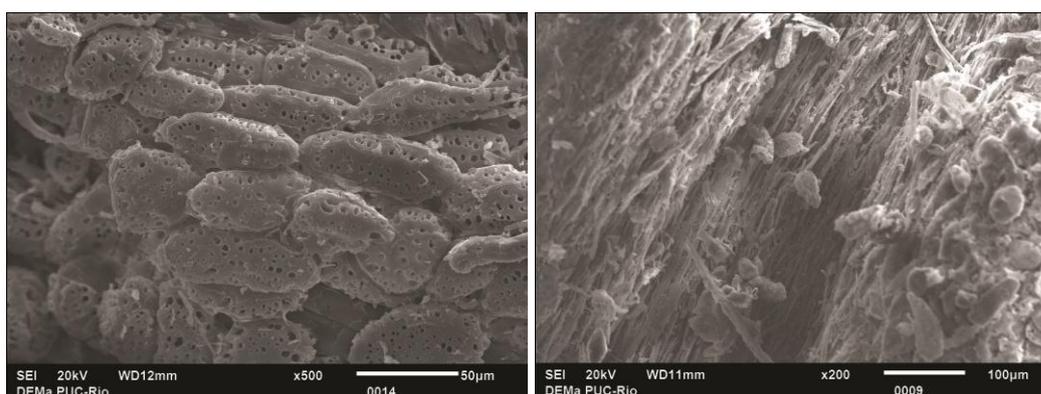


(A)

(B)

Figura 52 – Face externa da partícula (A) e face interna (B)

Analisando as micrografias obtidas por MEV do ouriço da Castanha-do-Brasil conforme figura 53 (A) e (B), constata-se a existência de dois tipos de células do esclerênquima (tecido de sustentação), sendo estas: esclereídes e fibras. As esclereídes, em geral, são células mortas, isodiamétricas e com paredes secundárias espessas e lignificadas, podendo ser encontradas isoladas ou em grupos. Já as fibras são caracterizadas por serem células longas e geralmente lignificadas, que tem como função principal sustentar as partes do vegetal que não se alongam mais. Além disso, foram identificadas pontoações, que ocorrem nos esclereídes e permitem a comunicação entre as células. (GLORIA e GUERREIRO, 2006 *Apud* Nascimento, 2012).



(A)

(B)

Figura 53 – Células esclereídes com pontoações (A) e células de fibras (B)

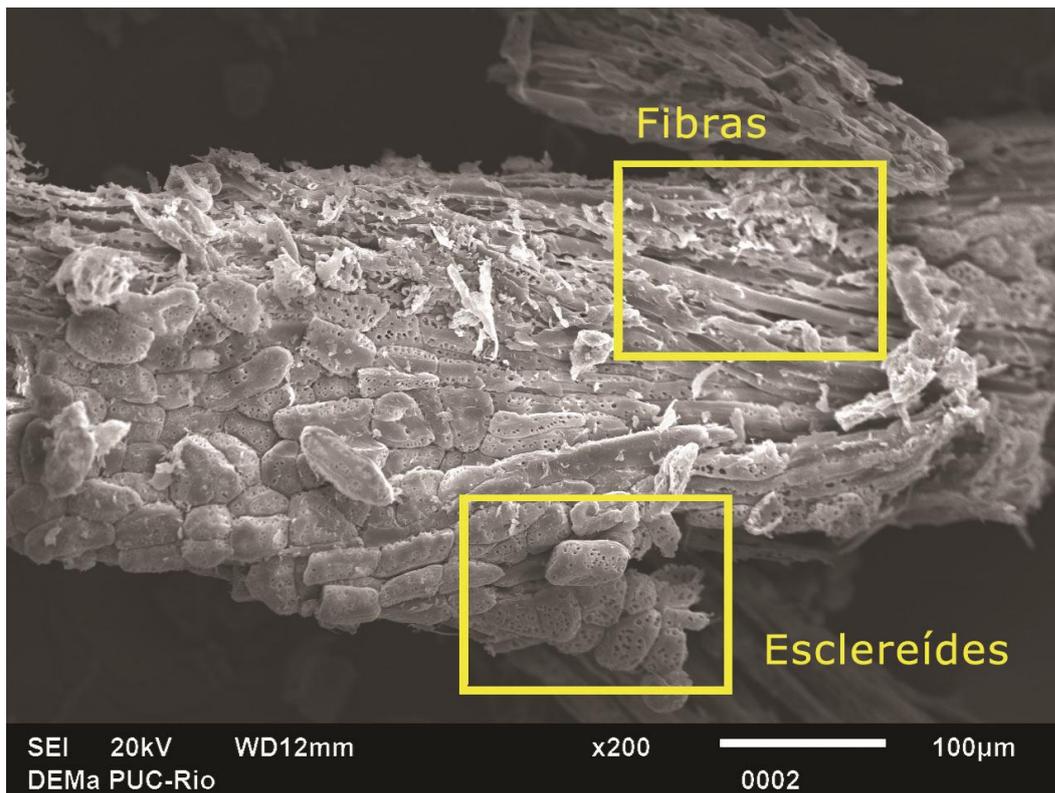


Figura 54 – Formação da parede celular com tipos esclereídes e fibras.

Dito de outra maneira, os vegetais possuem grupos de células especializadas para determinados tipos de ações. Esses grupos são denominados tecidos e são classificados em tecidos de preenchimento, de sustentação, de revestimento e de condução. Para essa análise o mais importante é o de sustentação. O tecido de sustentação apresenta dois tipos: clênquima e esclerênquima. Uma das principais diferenças entre eles é que o primeiro nunca é lignificado e o segundo apresenta uma parede secundária muito espessada e lignificada dando ao tecido maior resistência e dureza, logo isso oferece maior sustentação e elasticidade ao vegetal.

Portanto, a aglomeração das esclereídes e fibras, dispostas aleatoriamente, são responsáveis pela alta resistência mecânica observada no ouriço da Castanha-do-Brasil.

A figura 55 mostra a área onde foi realizada a análise de composição elementar por EDS.

Os principais componentes elementares de biomassas lignocelulósicas são carbono (C) e oxigênio (O), com percentagem entre 45-48% e 45-47%, respectivamente. (BASU, 2010; VASSILEV et al., 2010 *Apud* Nascimento, 2012)

Logo, através do EDS confirmamos a classificação acima com a presença de carbono (C), oxigênio (O) com os maiores índices e em menor teor também alumínio (Al). A presença de ouro (Au) é devido ao fato da amostra ter sido previamente metalizada.

Além disso, quanto a composição química do ouriço da Castanha-do-Brasil, o estudo de Nascimento (2012) indica que o ouriço é composto por celulose, lignina, hemicelulose e pectina. Os maiores teores são de celulose (57%) e lignina (37%). A pectina aparece com baixo teor, por ser um polissacarídeo encontrado principalmente em frutas cítricas.

Portanto, tais índices são justificados devido a maior presença de estruturas lignificadas (esclereides e fibras), observadas na análise de morfologia.

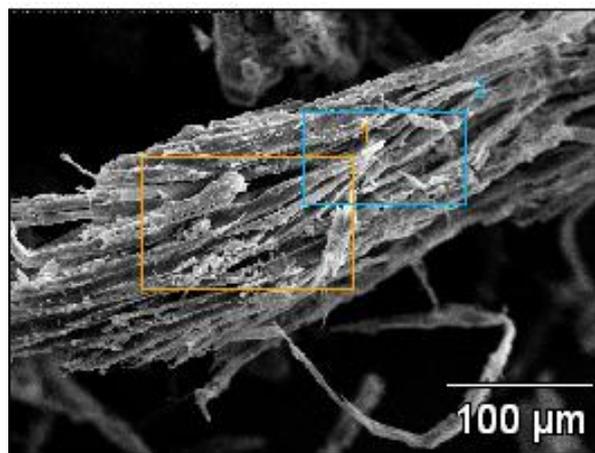


Figura 55 – Fibras e espectro de EDS da partícula do ouriço.

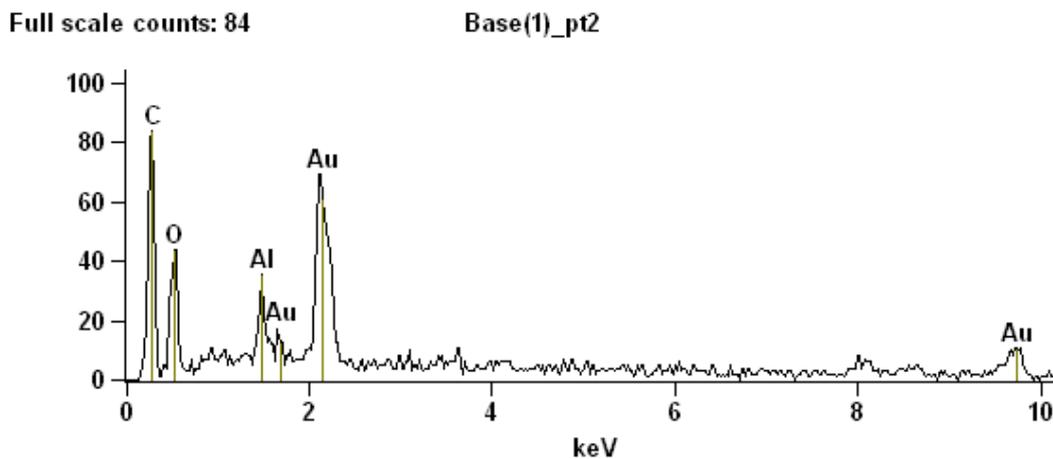


Figura 56 – Espectro de EDS da partícula do ouriço da Castanha do Brasil

5.3.2 Ensaio de abrasão

Os corpos de provas foram produzidos de acordo com as especificações descritas anteriormente, no item 5.2.2. Cada amostra possuía aproximadamente 16mm de diâmetro e 15mm de comprimento. A primeira etapa do ensaio de abrasão foi a pesagem de cada corpo de prova do grupo com 12 amostras. A figura 57, apresenta os valores computados para as médias das massas dos corpos de prova antes do ensaio. O material apresentou uma média de pesos de 2,57g.

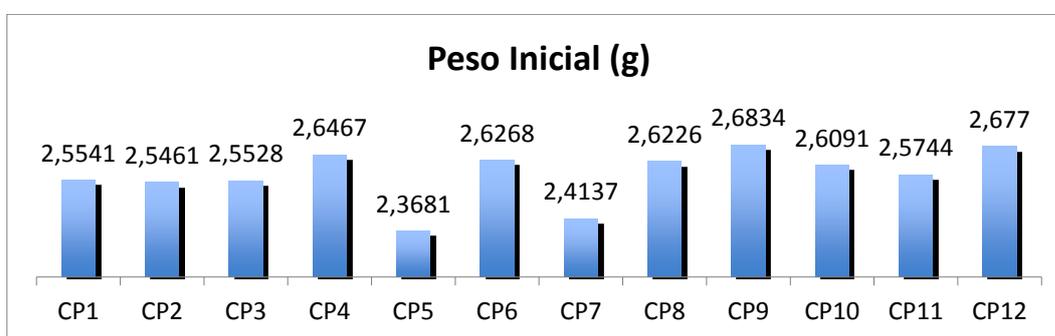


Figura 57 – Média dos pesos das amostras antes dos ensaio de abrasão.

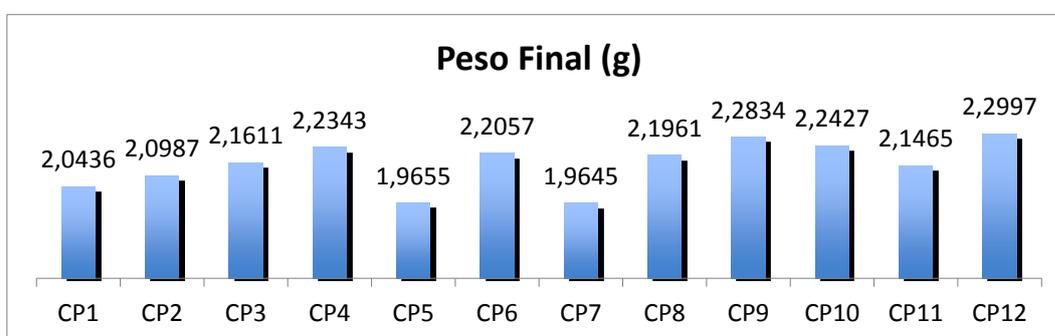


Figura 58 – Média dos pesos das amostras após o ensaio de abrasão.



Figura 59 – Corpos de prova após o ensaio. Fonte: Anne Mello, 2013.

A figura 58 apresenta os valores computados para as médias das massas dos corpos de prova após o ensaio de abrasão. O material apresentou uma média de massa final de 2,15g. Os valores dos pesos iniciais e finais foram transformados em porcentagem na figura 60, a fim de se analisar o desgaste abrasivo sofrido por cada corpo de prova. O desgaste médio do material foi de 16,34%.

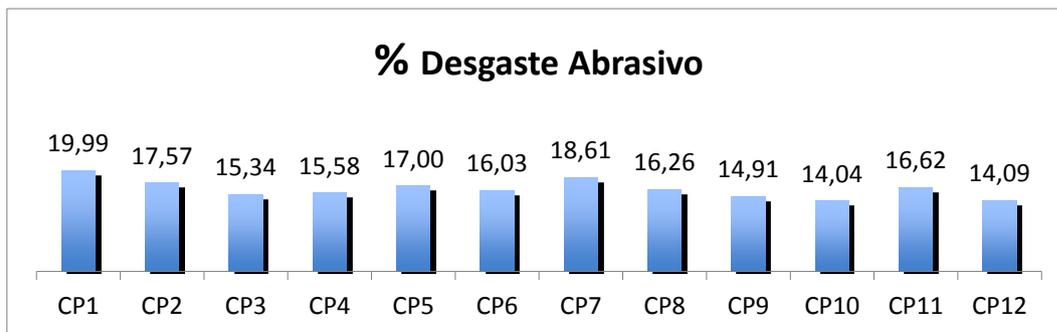


Figura 60 – Desgaste abrasivo (%) dos corpos de prova analisados

Constatamos após o ensaio de abrasão que o material manteve mais de 80% da sua massa inicial após o percurso de 40m. Ou seja, apresentou baixo índice de desgaste, o que tecnicamente o torna viável para ser utilizado como material para piso. Uma vez que para que um material seja considerado de resistência aceitável comercialmente para fabricação de pisos, é necessário que o mesmo atinja, no abrasímetro, o percurso de 40m, uma massa final maior que 60% de sua massa inicial. (Oliveira, 2005 *Apud* Oliveira, 2011)

Além disso, aproveitamos para averiguar resultados de ensaios de abrasão realizados com outros materiais compósitos equivalentes ao produzido aqui, com o intuito de fazer uma análise comparativa. Nesse contexto, Oliveira (2011) pesquisou o uso da fibra de ubuçu, cuja origem também é amazônica, com poliuretano de mamona na produção de compósitos para pisos e apresentou duas composições utilizando proporções diferentes para a mesma resina. Assim, realizou o ensaio das duas amostras e encontrou o desgaste abrasivo de 24,52% para o material 1 e 25,48% para o material 2, conforme mostrado na figura 61. Ainda, o desgaste abrasivo médio é de 25%. Logo, observamos que o valor de desgaste obtido em nosso ensaio, representado pelo material 3 com 16,34% na figura 61, está abaixo da média dos outros materiais, revelando um ótimo índice de resistência à abrasão.

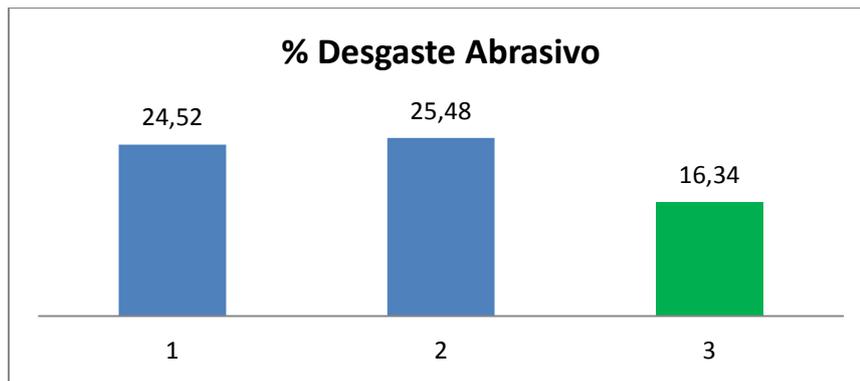


Figura 61 – Desgaste abrasivo (%) comparativo entre compósitos de Ubuçu e Castanha-do-Brasil

Considerando que o compósito desenvolvido por Oliveira (2011) foi reforçado com fibras contínuas e o presente material em estudo utilizou partículas organizadas de forma aleatória com maior probabilidade de desgaste, concluímos que os resultados do ensaio de abrasão superaram as expectativas e fortalecem a potencialidade do material pesquisado, fornecendo também dados técnicos sobre o uso desse compósito na fabricação de pisos.