

## ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DE MATERIAIS PRODUZIDOS A PARTIR DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS.

Maria Fernanda Nóbrega dos Santos, Rosane Aparecida Gomes Battistelle. – Engenharia Civil – Arquitetura e Urbanismo – Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia – Campus de Bauru.

Toda atividade humana causa, de alguma forma, um impacto sobre o meio ambiente, em maior ou menor grau. Qualquer ação encerra em si mesma, toda uma série de ações prévias, e desencadeia, no mesmo momento, uma série de outras. O entendimento dessa premissa básica é a chave que pode nos levar à transformações significativas no ambiente em que vivemos.

Compreender um produto, ou uma atividade, separadamente do contexto em que o mesmo está inserido, não é apenas uma omissão de sua área de influência, mas sim, um grave erro metodológico. Quando se fala dos chamados “produtos sustentáveis” então, é necessário um cuidado redobrado quanto a estas questões, pois estes deveriam ser os primeiros a apresentarem estas preocupações.

Atualmente, muito vem se discutindo sobre o reaproveitamento de resíduos em novos materiais, porém, antes que efetivamente um sistema de reciclagem seja implantado, é imprescindível que se compreendam todos os aspectos envolvidos nesta ação e, principalmente, quais os reais ganhos para o meio ambiente se isto ocorrer.

O crescimento do setor industrial de papel e celulose tem despertado a atenção dos pesquisadores pela grande quantidade de resíduo gerado durante seu processo produtivo e, pelo potencial que esse rejeito apresenta à construção civil, através da reutilização das fibras presentes no mesmo na produção de novos materiais.

Nesse sentido, o presente trabalho enfoca a reutilização deste resíduo em um novo material de construção, por meio da produção de chapas para vedação interna de edificações. As chapas são constituídas do resíduo de celulose (Figura 01) proveniente da empresa VCP – Votorantin Celulose e Papel – Unidade Jacareí; e reforçadas com as fibras das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* (Figura 02), sendo o objetivo desta pesquisa estabelecer uma nova alternativa na disposição final deste resíduo. Para a caracterização do material, foram produzidas chapas em diferentes traços, 100%, 70%, 60%, 50%, 40% e 0% de resíduo de celulose em relação à massa total do compósito, e avaliados em ensaios normatizados: a massa específica, o teor de umidade, a absorção de água, o inchamento, a resistência à tração paralela, à tração perpendicular, à flexão estática e a condutividade térmica do material.

Todos os ensaios foram realizados segundo as recomendações da norma americana ASTM D-1435 (1994) para chapas de partículas.

As chapas produzidas com o resíduo de celulose e fibras do bambu (Figura 03) demonstraram resultados satisfatórios em todos os ensaios realizados, apresentando também boa coesão, boa qualidade superficial e estética excelente. Os resultados obtidos por meio dos ensaios, apontam para a viabilidade técnica do resíduo em chapas para vedação, pois se observou em todos os ensaios valores próximos dos apresentados pela norma CS 236-66 (1968) para comercialização de chapas de partículas.

Por meio da interpolação dos dados, escolheu-se o Traço 05, contendo 40% de resíduo de celulose e 60% de



Fig. 01: Resíduo de celulose úmido.



Fig. 02: Folhas caulinares do bambu.



Fig. 03: Chapas RCB já prontas.

fibras do bambu, como traço “ideal” para este tipo de compósito. Os resultados dos ensaios, apenas para o traço ideal, estão expostos na Tabela 01, ao lado.

Sendo confirmada a viabilidade técnica, o próximo passo é comprovar a viabilidade econômica e ambiental desse novo processo apresentado.

Neste contexto, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) do material estudado, aparece como uma ferramenta importante na busca de respostas sobre a melhor disposição do resíduo de celulose.

A ACV consiste no inventário quantitativo e qualitativo de todos os insumos consumidos e dos resíduos e demais poluentes liberados no ambiente, durante todo o ciclo de vida de um produto (desde sua fabricação, uso e descarte) e posterior avaliação dos impactos ambientais gerados. Para tanto, foi realizado um inventário baseado nas normas da série ISO 14.040 (2001) e metodologia apresentada por MOURAD *et al.* (2002), contendo todas as etapas do ciclo de vida do compósito estudado: a obtenção das matérias-primas, a produção das chapas, o transporte até o consumidor, seu uso e posterior descarte.

A partir desta análise é possível compreender todo o ciclo de vida das chapas para vedação interna de edificações compostas de resíduos, descobrir em que fase do seu ciclo de vida está o ponto crítico (onde ocorre maior impacto ambiental), e consequentemente, promover melhorias no produto.

Como as chapas estudadas são produzidas apenas em escala laboratorial e suas medidas nominais diferem das chapas comerciais, a unidade funcional adotada foi o m<sup>2</sup> da chapa RCB-Resíduo de Celulose e Bambu, de modo que possam ser efetuadas comparações entre as chapas produzidas e as comerciais. Como unidade de processo, entende-se a produção das chapas no Laboratório de Processamento da Madeira da Unesp de Bauru.

Foi estudado todo o sistema envolvendo a produção das chapas RCB, incluindo: a aquisição das materiais-primas utilizadas, a produção das chapas (incluindo sua usinagem), seu transporte até o consumidor, seu uso (como forro interno de uma edificação) e descarte final. Como o estudo objetiva avaliar especificamente a produção das chapas, esta foi a fase onde se efetuou um maior detalhamento, para que se pudesse observar os pontos críticos desta etapa e promover melhorias no produto final. Durante cada uma das etapas do sistema estudado foram quantificados os seguintes parâmetros e unidades:

#### (1) Entrada:

- o consumo de energia (kw/m<sup>2</sup> do produto final);
- o consumo de combustível veicular (L/m<sup>2</sup> do produto pronto);
- o consumo de água (L/m<sup>2</sup> do produto pronto);
- o consumo de recursos naturais (kg/m<sup>2</sup> do produto pronto).

#### (2) Saída:

- as emissões de poluentes para o ar (kg/m<sup>2</sup> do produto pronto);
- os efluentes líquidos (L/m<sup>2</sup> do produto pronto);
- a produção de resíduos sólidos (kg/m<sup>2</sup> do produto pronto).

A partir deste estudo das entradas e saídas do sistema, foi elaborado um inventário de todos os insumos e emissões em cada etapa do ciclo de vida das chapas. Os dados utilizados para a elaboração do inventário foram retirados de quantificações práticas em laboratórios e revisão bibliográfica.

**Tabela 01:** Resumo dos ensaios para o Traço 05.

Traço 05: 40% celulose e 60%bambu	
Ensaio	Valores
Massa Específica	1,023 g/cm <sup>3</sup>
Teor de umidade	6,27 %
Absorção de água	49,76 %
Inchamento	24,42 %
Resistência à Tração	42 kgf/cm <sup>2</sup>
Resistência à Tração ⊥	2,03 kgf/cm <sup>2</sup>
MOR	103 kgf/cm <sup>2</sup>
MOE	15.070 kgf/cm <sup>2</sup>
Condutividade Térmica	0,3590 W/m <sup>°</sup> k

O Consumo de energia é um dos aspectos mais importantes na avaliação do “custo ambiental” de um produto, pois está associado ao dispêndio de muitos recursos naturais e muitas emissões para o ar e para a água. Assim, a energia gasta durante cada etapa do ciclo de vida das chapas foi quantificada em laboratório, por meio de medições em cada máquina usada no processo de produção das chapas. O aparelho utilizado para efetuar estas medições foi o Analisador de Grandezas Elétricas SAGA 4.000 (Figura 04).

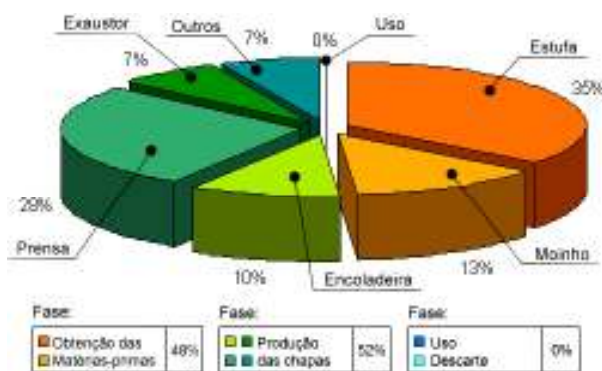


**Fig. 04:** Aparelho SAGA.

Os resultados obtidos para o consumo de energia estão apresentados no Gráfico 01, mostrando as porcentagens de gasto de energia nas diferentes máquinas envolvidas no processo de produção das chapas.

Por meio das medições, foi possível verificar que a etapa que mais consome energia é a “produção das chapas” consumindo 9,3 KW/h por m<sup>2</sup> de chapa pronta. Porém, constatou-se que a etapa “obtenção das matérias-primas” também apresenta um alto consumo de energia, muito próximo da etapa “produção”, consumindo 8,9 KW/h por m<sup>2</sup> de chapa pronta. As etapas “uso” e “descarte” apresentaram um consumo muito baixo de energia, não influenciando em nada na avaliação final.

**Gráfico 01:** Porcentagem do Consumo de Energia.



A etapa “obtenção das matérias-primas” também se destacou quanto ao consumo de combustível, apresentando um gasto excessivo de 6,5 litros de gasolina por m<sup>2</sup> de chapa pronta. Em decorrência disto, as emissões para o ar também apresentaram seu ponto crítico nesta fase, com cerca de 0,24 kg de CO (Monóxido de Carbono) e 1,07 kg de CO<sub>2</sub> (Gás Carbônico) emitido por m<sup>2</sup> de chapa pronta. Esses índices demasiadamente altos são em decorrência da distancia entre a fábrica onde o resíduo é gerado, Jacaré, e a unidade de produção das chapas, Bauru.

Outro aspecto avaliado foi o consumo de recursos naturais. A etapa “produção” apresentou um gasto de 18,76 kg de matéria-prima por m<sup>2</sup> de chapa. Porém, esta também foi a etapa com maior geração de resíduos sólidos: 4,6 kg de resíduo por m<sup>2</sup> de chapa, seguido da etapa “obtenção das matérias-primas”, com 2,5 kg de resíduos por m<sup>2</sup> de chapa, e em ultimo a etapa “uso”, com 1,5 kg de resíduo por m<sup>2</sup> de chapa, já instalada. A parte do processo onde existe a maior geração de resíduos ocorre durante a utilização da encoladeira, que mistura os resíduos à cola, pois a abertura existente não possibilita a retirada de toda a massa do compósito, ficando cerca de 200 g dentro do maquinário.

A única etapa que apresentou emissão de efluentes líquidos foi a “produção”, com 32 litros por m<sup>2</sup> de chapa. O efluente provém da limpeza do material utilizado na fabricação das chapas, e caracteriza-se como resíduo por causa da presença de resina, detergentes, parafina e partículas na água.

A partir da análise destes dados, é possível identificar os pontos críticos do processo e, promover melhorias no material, tornando-o mais viável economicamente e menos impactante ambientalmente. Desse modo, seguem as sugestões apresentadas:

- Buscar o resíduo de celulose em uma indústria mais próxima da unidade de produção das chapas, no caso, adquirir o resíduo em uma fábrica em Lençóis Paulista (a 44 km de distancia de Bauru), proporcionando uma redução de 99% no consumo de combustível e na emissão de gases como o CO, o CO<sub>2</sub> e o NO<sub>x</sub>;

- O resíduo de celulose deve ser seco ao ar livre, já que a estufa utilizada é o aparelho que mais consome energia em todo o ciclo de vida das chapas, implicando numa redução de 35% na energia consumida durante a produção;
- A encoladeira (misturador horizontal) deve ser trocada por uma bateadeira (misturador vertical), pois isso diminuiria 40% de todo o resíduo sólido gerado durante a produção das chapas e 29% do tempo gasto para se fazer uma chapa;
- A resina uréia-formaldeído deve ser trocada pela resina a base de mamona, acabando assim com a emissão de formaldeído durante a prensagem, que é tóxico para a saúde humana.

Apenas modificando estes aspectos no processo produtivo das chapas, pode ser observada uma redução significativa no custo final das mesmas, cerca de 60%, o que torna as chapas compostas de resíduos viáveis: técnica, econômica e ambientalmente.

### **Referências Bibliográficas**

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM 1037 **Standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials**. Philadelphia, p. 137 – 166, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - princípios e estrutura - NBR ISO 14.040**. Rio de Janeiro: ABNT, 10p. 2001.

COMMERCIAL STANDARD C.S. 236-66 **Mat formed wood particleboard**. 1968

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e Aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 92p. 2002.

**Bolsa:** FAPESP