

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Curso de Engenharia de Materiais



Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE COMPÓSITOS DE CIMENTO
BRANCO ESTRUTURAL ADITIVADOS COM FIBRAS VEGETAIS**

Oscar Giordani Paniz

Pelotas, Dezembro de 2014

Oscar Giordani Paniz

**Análise do desempenho térmico de um compósito de cimento branco
estrutural aditivado com fibras vegetais**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade Federal de Pelotas, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Profa. Dra. Margarete Regina Freitas Gonçalves

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Shigueaki Takimi

Pelotas, Dezembro de 2014

Oscar Giordani Paniz

Título: Análise do desempenho térmico de um compósito de cimento branco estrutural aditivado com fibras vegetais

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 15 de Dezembro de 2014

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Margarete Regina Freitas Gonçalves (Orientadora)

Doutora em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Antônio Shigueaki Takimi (Coorientador)

Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Msc^a. Patrícia Soares Bilhalva dos Santos

Mestre em Engenharia de Materiais Renováveis pela Universidad del País Vasco

Prof. Dr. Neftalí Lenin Villarreal Carreño

Doutor em Química pela Universidade Federal de São Carlos

Dedico este trabalho a minha família, especialmente minha mãe, meu pai e minhas irmãs. Também dedico a todos os amigos que me ajudaram, apoiaram e acolheram durante toda essa jornada de aprendizado.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha mãe Liane, por todo o seu esforço e dedicação, que desde sempre me apoiou e me guiou, ajudando nos melhores e piores momentos, e junto de meu pai Oscar mostrou a importância do caráter e dos princípios que um homem deve ter e seguir, conduzindo-me por fim a este momento.

Agradeço minhas irmãs Victória e Valentine, que foram de fundamental importância sempre, e nesses anos longe de casa foram muito mais que um apoio, mas um alicerce.

Agradeço minha tia Tó, minha vó Noemi, e minha saudosa vó Amábile, pelos anos todos dedicados aos sobrinhos, netos e toda a família.

Um agradecimento especial a minha linda companheira de todas as horas durante a graduação, Letícia, que foi meu porto seguro nestes anos todos, me acompanhando nas horas difíceis longe de casa e da família, com todo seu amor, carinho e dedicação.

Aos amigos que se perderam no tempo, os que ficaram, e os muitos conquistados, ficam meus agradecimentos, pelos momentos de alegria, pela companhia e o suporte, mas agradeço especialmente a minha grande amiga Vanessa, que me incentivou, escutou e sempre soube o que dizer nas horas em que eu me vi perdido no caminho, ou quando minha teimosia era demasiadamente grande.

Não posso deixar de citar meus grandes amigos de faculdade Eduardo e Tainara, e os que gentilmente me acolheram em suas casas Marina, Thaís, Jéssica, Benhur, Gustavo e Charles. Vocês foram grandes companheiros do dia a dia, nas aulas, no laboratório e sem dúvidas fizeram a diferença na minha jornada.

Pela amizade e pelos anos todos trabalhando junto fica meu agradecimento aos parceiros José Euclides, Gian, Juliana, Caio, Faili, Igor, Guilherme, e tantos outros que de alguma forma participaram. Muito deste trabalho não seria realizado sem a ajuda de vocês.

Obviamente não poderia deixar de agradecer aos professores e servidores do curso de Engenharia de Materiais pelos anos de convívio e pelo conhecimento cedido, que certamente me será útil na minha jornada profissional, entretanto tenho que expressar aqui toda minha gratidão a minha querida orientadora, Professora Margarete, que lá no início de tudo me apresentou a engenharia de materiais e me fez querer prosseguir neste curso, que até então era um enigma para mim, e desde então tem me apoiado, guiado e orientado.

A todos estes, e também aos demais que aqui por ventura não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram nessa jornada, muito obrigado!

Resumo

PANIZ, Oscar Giordani. **Análise do desempenho térmico de um compósito de cimento branco estrutural aditivado com fibras vegetais**. 2014. 78f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel em Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014

Apesar da crise econômica que atualmente assola as principais economias do mundo, as previsões para a maioria das nações, principalmente as em desenvolvimento, é de crescimento econômico para os próximos anos. Com isso, uma parcela significativa da população que, até o momento não dispunha de acesso a uma série de produtos e serviços, terá a possibilidade de consumi-los. Como consequência as indústrias precisarão produzir mais, necessitando de uma maior quantidade de matéria prima e energia. Além disto, o maior consumo de bens por parte da população em geral elevará o consumo energético nos centros urbanos, visto que será preciso “abastecer” os equipamentos que garantem maior comodidade no dia a dia, tais como os ventiladores e ar condicionados. Contudo é sabido que o crescente acesso a bens de consumo contribuem para o total esgotamento do planeta e do meio ambiente. Uma das formas de combater tal situação é desenvolver novos produtos que se utilizem de fontes renováveis ou de resíduos como matéria prima. Também, é preciso desenvolver tecnologias que aumentem a eficiência energética e reduzam o consumo. Estudos indicam que o uso de isolantes térmicos em residências aumenta a eficiência energética e o consumo se reduz em até 50%. Baseado nos princípios da proteção ambiental, melhoria da qualidade de vida e sustentabilidade, o presente trabalho estuda o desenvolvimento de um compósito de cimento branco estrutural aditivado com fibras vegetais extraídas de talos de casca de banana para a aplicação como isolante térmico na construção civil.

Palavras-chave: reciclagem; fibras vegetais; compósitos; placas termo isolantes.

Abstract

PANIZ, Oscar Giordani. **Thermal Performance Analysis of Non-wood Fibers Reinforced White Cement Sheet**. 2014 78f. Final Work for the Undergraduate – Bacharel em Engenharia de Materiais, Centro de Desenvolvimento Tecnológico, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014

Despite the economic crisis that has gripped the major economies of the world today, the forecasts for most nations, especially the nations in development, is of economic growth for the coming years. With this, a significant portion of the population that until now did not have access to a variety of products and services, have the possibility of enjoy them. As a result of this increase, the industrial production grow and require a greater amount of raw material and energy. One way to tackle this situation is to develop products that use renewable sources or waste such as raw material. There is also a need to develop technologies that increase energy efficiency and reduce consumption. Studies indicate that, with the use of thermal insulation and with energy efficiency, the consumption reduces by up to 50% on homes. The present work, based in this last principles, developed plates thermal insulating using as raw material, structural white cement and lignocellulosic fibers, extracted from stalks of banana peel, seeing that these are an excellent source of fibers for use as an additive in non-woods reinforced cement plates

Keywords: Lignocellulosic fibers, recycling; composites; lates end insulators

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Gráfico mostrando a relação entre a distância Inter atômica e a energia potencial;..... | 19 |
| Figura 2 - Diferentes apresentações da lã de rocha..... | 25 |
| Figura 3 - Diferentes apresentações da lã de vidro..... | 26 |
| Figura 4 - Diferentes apresentações da vermiculita | 27 |
| Figura 5 - Placas de cortiça usadas como revestimento interno com a intenção de melhorar a eficiência térmica;..... | 28 |
| Figura 6 - Painel de Fibra de coco com interior de cortiça; | 28 |
| Figura 7 - Isolantes térmicos a base de fibra de celulose (lignocelulósica) (a) na forma de flocos (b) aplicado no interior de paredes | 29 |
| Figura 8 - Diferentes apresentações do poliuretano..... | 30 |
| Figura 9 - Placas de isolante de poliestireno expandido. | 31 |
| Figura 10 – Placas de isolante de poliestireno extrudado. | 31 |
| Figura 11 - Diferentes perfis de consumo energético no Brasil..... | 33 |
| Figura 12 - Consumo de energia em uma edificação de acordo com a fase na qual ela se encontra..... | 34 |
| Figura 13 - Classificação dos materiais compósitos;..... | 38 |
| Figura 14 - Características geométricas e espaciais de partículas da fase dispersa: (a) concentração, (b) Tamanho (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação; | 39 |
| Figura 15 - Fenômenos que podem ocorrer durante a propagação de trincas em um compósito fibrocimento. | 41 |
| Figura 16 - Ilustração de um coqueiro e corte longitudinal de um coco, onde é possível observar a proporção entre a casca e a polpa. | 42 |
| Figura 17 - Classificação dos tipos de resíduos de madeira | 43 |
| Figura 18 - Placa termo Isolante de Cimento Branco não estrutural. | 44 |
| Figura 19 - Desempenho térmico de placas termo isolantes de cimento branco não estrutural aditivadas com fibras de talos de casca de banana. | 45 |
| Figura 20 - Fluxograma com as etapas desenvolvidas no trabalho. | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 21 - Etapas para obtenção de fibras vegetais: (a) talos, (b) talos desmembrados, (c) Talos descascados, (d) Talos cortados, (e) talos autoclavados e (f) fibras maceradas e lavadas | 49 |
| Figura 22 - Ensaio de teor de Extrativos solúveis e Lignina insolúvel | 50 |
| Figura 23 - Preparação de amostra para análise da área de secção das fibras (a) fibras embutidas em resina e (b) cortes transversais analisados. | 53 |
| Figura 24 - Secção de fibras vegetais coradas. | 53 |
| Figura 25 – Forma utilizada na confecção das placas. | 55 |
| Figura 26 - Placas com (a) 0%, (b) 5% e (c) 10% de fibras após 28 dias de cura ... | 56 |
| Figura 27 - Placa cimentícia cortada para ensaio de flexão a 3 pontos; | 56 |
| Figura 28 - Ensaio de flexão de 3 pontos. | 57 |
| Figura 29 - Ensaio de absorção de água: corpos de prova secos (a) e imersos em água (b). | 57 |
| Figura 30 - Esquema do aparato utilizado para medir o desempenho térmico dos compósitos. | 58 |
| Figura 31 - Gráfico de teor de extrativos solúveis. | 60 |
| Figura 32 - Gráfico do teor de lignina insolúvel. | 60 |
| Figura 33 – Micrografia da fibra vegetal isolada obtida por microscopia ótica (a) aumento de 40x; (b) a cavidade interior, aumento de 200 x. | 61 |
| Figura 34 – Micrografia de fibra isolada obtida por microscopia óptica, aumento de 40x. | 61 |
| Figura 35 – Micrografia das microfibrilas da fibra vegetal obtida por microscopia óptica, aumento de 40x. | 62 |
| Figura 36 – Micrografia da fibra vegetal obtida por microscopia eletrônica de Varredura; | 62 |
| Figura 37– Ensaio de flexão a três pontos da massa com 0% de adição de fibras vegetais. | 63 |
| Figura 38 - Ensaio de flexão a três pontos da formulação de massa com 5% de adição de fibras vegetais. | 64 |
| Figura 39 - Ensaio de flexão a três pontos da formulação de massa com 10% de adição de fibras vegetais. | 64 |
| Figura 40 – Análise comparativa das tensões de flexão a três pontos das três formulações. | 64 |
| Figura 41 – Teor de absorção de água das três formulações propostas. | 65 |

| | |
|---|----|
| Figura 42 - Desempenho Térmico de placas com 0% de fibras | 66 |
| Figura 43 - Desempenho Térmico de placas com 5% de fibras | 66 |
| Figura 44 - Desempenho Térmico de placas com 10% de fibras | 67 |
| Figura 45 – Gráfico do percentual de calor retido pelas placas com diferentes teores de fibra. | 67 |
| Figura 46 - Relatório Máquina de ensaio universal | 76 |
| Figura 47 - Relatório da Máquina de ensaio universal; | 77 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Composição química de diferentes fibras vegetais. | 46 |
| Tabela 2 – Propriedades físicas de diferentes fibras vegetais | 46 |
| Tabela 3 - Formulações de massa dos compósitos testados;..... | 54 |
| Tabela 4- Valores médios usados para o cálculo da razão aspecto das fibras vegetais..... | 63 |

Lista de Equações

| | |
|--|----|
| Equação 1 - Equação da expansão linear em função de uma variação na temperatura..... | 19 |
| Equação 2 - Calculo da expansão volumétrica em função da variação da temperatura;..... | 20 |
| Equação 3 – Cálculo da condutividade térmica..... | 21 |
| Equação 4 - Cálculo do teor de Extrativos solúveis. | 50 |
| Equação 5 - Cálculo teor de lignina insolúvel..... | 51 |
| Equação 7 - Calculo para razão de aspecto;..... | 52 |
| Equação 8 - Área média de secção transversal das fibras obtidas | 52 |
| Equação 9 - Determinação para o diâmetro estimado das fibras..... | 54 |
| Equação 10 - Calculo do teor de absorção de água. | 58 |
| Equação 11 - Calculo do percentual de calor retido pelas placas;..... | 59 |

Sumário

| | |
|--|----|
| Agradecimentos | 4 |
| Resumo | 6 |
| Abstract | 7 |
| Lista de Figuras | 8 |
| Lista de Tabelas | 11 |
| Lista de Equações | 12 |
| 1. Introdução | 15 |
| 2. Objetivos | 17 |
| 2.1 Objetivos Gerais | 17 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 3. Revisão Bibliográfica | 18 |
| 3.1 Propriedades térmicas dos materiais | 18 |
| 3.2 Isolantes térmicos | 23 |
| 3.2.1 Isolantes de origem mineral | 24 |
| 3.2.2 Isolantes de origem vegetal | 27 |
| 3.2.3 Isolantes de origem sintética | 29 |
| 3.3 A eficiência energética e o conforto térmico nas edificações | 32 |
| 3.4 A ciência dos materiais, os compósitos e a reciclagem | 35 |
| 4. Materiais e Métodos | 48 |
| 4.1. Matérias primas | 48 |
| 4.2. Caracterização das fibras de talos de casca de banana | 50 |
| 4.3 Obtenção dos compósitos de cimento e fibras vegetais | 54 |
| 4.4 Caracterização dos compósitos de cimento e fibras vegetais | 55 |
| 4.5 Limitações da Pesquisa | 59 |
| 5. Resultados e Discussão | 60 |

| | |
|--|----|
| 5.1 Caracterização das fibras vegetais | 60 |
| 5.2 Caracterização dos compósitos de cimento e fibras vegetais | 63 |
| 6. Conclusões | 68 |
| 7. Referências Bibliográficas | 69 |
| Apêndices..... | 74 |
| Ensaio de Absorção de Água | 75 |
| Ensaio de Flexão a três pontos | 76 |
| Análise de Diâmetro e Área de seção Média..... | 78 |

1. Introdução

Nas últimas décadas diversos veículos de comunicação e entidades de proteção ambiental vêm alertando a população para a crescente escassez de matérias primas, principalmente as não renováveis. Bastos (2007) afirma que as perspectivas para o futuro são de esgotamento de diversas fontes, por conta do aumento do consumo, fruto do crescimento populacional. Dessa forma novas tecnologias devem ser desenvolvidas, para suprir a demanda crescente.

Segundo Isolani (2011), o consumo de combustíveis fósseis, usados para satisfazer a necessidade energética global, é responsável por boa parte das alterações climáticas do planeta e se as emissões de CO₂ permanecerem nos níveis atuais estima-se um aumento de 1,4°C na temperatura média global, ao passo que se estas aumentarem o acréscimo na temperatura média pode chegar até a 5,8°C. Vale ressaltar que, atualmente, menos de 30% da população mundial consome mais de 70% da energia produzida. Para o autor, as consequências do aquecimento global já são sentidas com o derretimento das calotas polares, aumento nos níveis dos mares, erosão da costa marítima, perda da biodiversidade, etc., e tendem a aumentar devido ao aumento no consumo de energia provocado em parte pela ascensão da população de menor poder aquisitivo a uma melhor condição econômica. Isolani destaca que é imprescindível dar início a uma revolução energética, incentivando a redução de energia e o uso de fontes renováveis para o desenvolvimento e subsistência da população.

Contudo, a busca de fontes alternativas e renováveis não basta, se o perfil de consumo permanecer inalterado. É necessário aumentar a eficiência energética em diversos setores, para que obtenhamos o real desenvolvimento sustentável, permitindo que a população atual desfrute dos confortos disponíveis, sem com isso ceifar as gerações futuras destas comodidades.

Um dos setores aonde o consumo energético vem crescendo é o residencial. A população em geral busca a cada dia maiores comodidades que lhes permitam viver com mais qualidade de vida, fazendo com que o consumo de bens e energia

se eleve. Segundo Cruz (2009), nas residências o conforto térmico é alcançado apenas em 14,7% das horas anuais e o correto emprego de materiais neste período possibilitaria uma economia de 30% a 50% de energia.

A preocupação com a produção de energia e a eficiência energética não são os únicos elementos que podem contribuir para o desenvolvimento sustentável. O desenvolvimento de novos materiais com propriedades térmicas que proporcionem maior eficiência energética nas construções, os chamados termo isolantes, também podem ajudar. Atualmente, existem no mercado produtos para tal aplicação que, em sua maioria, produzem impactos ao meio ambiente, tanto na sua produção quanto no seu descarte, fazendo crescer a preocupação com a necessidade de desenvolvimento de novos materiais que consigam convergir às propriedades térmicas com a redução do impacto ambiental.

Buscando atender os princípios acima expostos, neste Trabalho de Conclusão de Curso será apresentada a análise do desempenho térmico de um compósito de cimento branco estrutural aditivado com fibras vegetais, visando a sua aplicação como isolante térmico. As fibras vegetais utilizadas são originárias de talos de casca de banana. Com a reciclagem do talo da casca de banana, além da redução do impacto ambiental provocado pelo descarte de matéria orgânica, busca-se diminuir o consumo de energia a partir da exploração das propriedades isolantes da fibra utilizada.

2. Objetivos

2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar o desempenho térmico de um compósito de cimento branco estrutural aditivado com diferentes teores de fibras vegetais, extraídas de talos de casca de banana, visando sua aplicação como isolante térmico.

2.2 Objetivos Específicos

- Obter e caracterizar química e fisicamente fibras vegetais oriundas de talos de casca de banana;
- Produzir diferentes formulações de cimento branco estrutural e fibras vegetais;
- Obter placas de matriz cimentícia aditivadas com diferentes percentuais de fibras (0%, 5% e 10%);
- Avaliar as propriedades físicas e mecânicas das placas;
- Avaliar o desempenho térmico das diferentes formulações

3. Revisão Bibliográfica

3.1 Propriedades térmicas dos materiais

Para produzirmos um bom isolante térmico é preciso, primeiramente, entender como os materiais se comportam sob a ação do calor, visto que todos os materiais apresentam propriedades térmicas.

Segundo Callister (2012), a energia sob forma de calor é absorvida pelos sólidos, podendo promover aumento de sua temperatura e do seu volume, ser transferida para regiões mais frias e por fim promover a fusão e/ou a degradação do material. Dentre as principais propriedades térmicas destacam-se a capacidade calorífica, a expansão térmica, a condutividade térmica, a difusividade térmica, a radiação e a convecção.

- **Capacidade Calorífica**

A capacidade calorífica é a habilidade de um material absorver calor de sua vizinhança e com isso promover o aumento de sua temperatura.

Para os isolantes térmicos, a capacidade calorífica é uma propriedade importantíssima, visto que estes são utilizados para evitar trocas térmicas entre o ambiente interno e o externo, sendo necessário impedir ou minimizar o fluxo de calor pela superfície deste material. Ao apresentar uma alta capacidade calorífica o material permite um fluxo de calor maior, a indesejável troca térmica e a redução de sua eficiência energética.

Vale ressaltar que o isolante térmico não minimiza o fluxo de calor externo por conta apenas da capacidade calorífica, mas também por conta de sua espessura, como citado por Cruz (2009). Além disto, os termo isolantes evitam tanto o aquecimento de um ambiente sob ação de elevadas temperaturas, como a perda de calor de ambientes aquecidos em regiões mais frias.

- **Expansão Térmica**

A expansão térmica é o resultado do afastamento dos átomos. Tal fenômeno pode ser melhor compreendido consultando a curva média da energia potencial em função do espaçamento atômico, como mostra a figura 01, e dependendo do tipo de material e da força das suas ligações interatômicas maior ou menor será a expansão térmica (CALLISTER, 2012).

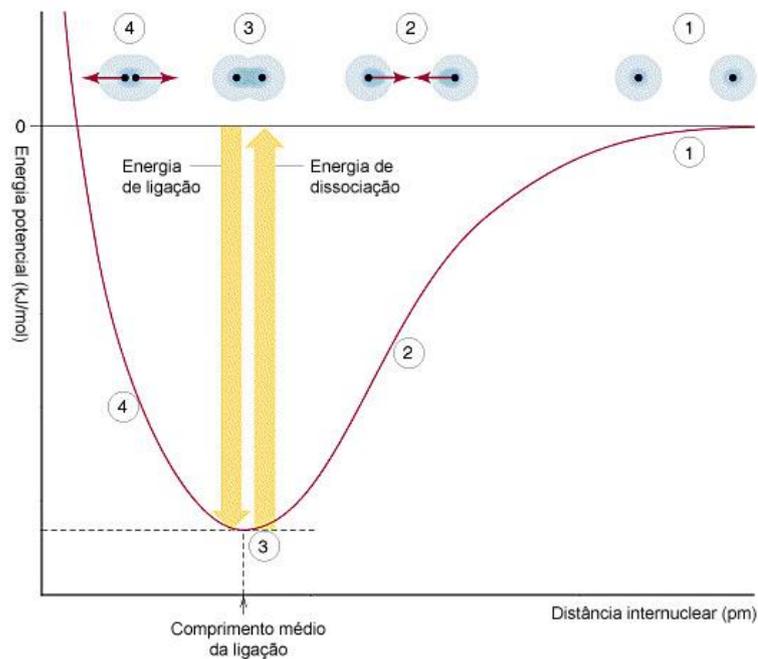


Figura 1 - Gráfico mostrando a relação entre a distância Inter atômica e a energia potencial;

Fonte: Água – Um olhar integrado – <http://www.c2o.pro.br/automacao/x3369.html>

Os materiais de um modo geral quando submetidos a uma diferença de temperatura sofrem variação em seu comprimento ou em seu volume. Essa variação pode ser expressa conforme equação 1.

$$\frac{l_f - l_0}{l_0} = \alpha_l(T_f - T_o)$$

Equação 1 - Equação da expansão linear em função de uma variação na temperatura

Onde l_f e l_0 correspondem, respectivamente, ao comprimento final e inicial, T_f e T_0 correspondem à temperatura final e inicial e o componente α_l é chamado de coeficiente linear de expansão, sendo esta uma propriedade intrínseca do material.

Analogamente é possível estimar a expansão volumétrica de um material, podendo esta ser calculada pela equação 2.

$$\frac{V_f - V_0}{V_0} = \alpha_v(T_f - T_0)$$

Equação 2 - Cálculo da expansão volumétrica em função da variação da temperatura;

Onde V_f e V_0 correspondem, respectivamente, ao volume final e inicial, T_f e T_0 correspondem, respectivamente, à temperatura final e inicial e o componente α_v é chamado de coeficiente volumétrico de expansão, que nos materiais isotrópicos¹ corresponde a $3\alpha_l$, mas em materiais anisotrópicos² esse valor varia conforme a orientação cristalográfica do material.

Os materiais metálicos apresentam coeficientes de expansão intermediários, ao passo que os materiais poliméricos apresentam elevada expansão quando aquecidos. Os materiais cerâmicos podem apresentar coeficientes baixos e intermediários, sendo que os que tem estrutura cúbica e amorfos apresentam coeficientes isotrópicos. As demais estruturas cristalinas cerâmicas são anisotrópicas e podem contrair quando aquecidas em uma direção e expandir na outra, dependendo da sua composição química. Para os cerâmicos é importante um baixo coeficiente de expansão e a isotropia pois minimizam os riscos de trincas e fraturas por choque térmico.

¹ Materiais cujas propriedades não variam conforme a direção analisada.

² Materiais cujas propriedades variam com a direção analisada.

- **Condutividade Térmica**

É um fenômeno onde o calor migra de regiões mais quentes para zonas mais frias e para isso ocorrer o material deve ter maior capacidade de transferir calor. Matematicamente, essa propriedade pode ser descrita como na equação 3.

$$q = -k \left(\frac{\delta T}{\delta x} \right)$$

Equação 3 – Cálculo da condutividade térmica.

Onde q é o fluxo de calor por unidade de tempo por unidade de área (perpendicular ao fluxo), k é a condutibilidade térmica do material e $\left(\frac{\delta T}{\delta x} \right)$ representa o gradiente de temperatura através do meio condutor.

Os mecanismos para o transporte de calor nos sólidos são dois, por ondas de vibração na rede chamadas de fônons, e por elétrons livres. A condutibilidade total é resultado da soma desses dois mecanismos.

Geralmente um dos mecanismos se sobressai ao outro, dependendo do tipo de material. A condutividade por fônons é resultado do movimento vibracional da rede cristalina, da região mais quente para a mais fria, já a condutividade eletrônica depende de elétrons livres que ganham energia na região mais quente e se chocam com átomos da região de menor temperatura, promovendo então o seu aquecimento. Este segundo mecanismo é mais evidente em materiais onde existe uma maior densidade de elétrons livres, como nos metais, o que faz esses melhores condutores de calor.

Materiais cerâmicos são bons isolantes, devido ao reduzido número de elétrons livres, se comparados aos metais e a menor eficiência da condutibilidade por meio de fônons, por conta das imperfeições da rede cristalina. Entretanto, cerâmicos cristalinos apresentam um espalhamento mais eficiente de fônons e maior condutibilidade. Também, vale ressaltar dois aspectos que influenciam na condutibilidade dos materiais cerâmicos, a temperatura e a porosidade, visto que em temperaturas elevadas o espalhamento dos fônons se torna mais acentuado e a

porosidade reduz a condutibilidade em função da lenta e ineficiente transferência de calor pelos poros.

Nos materiais poliméricos a condutibilidade se dá por meio de vibrações, translação e rotação das cadeias poliméricas, sendo o grau de cristalinidade o principal determinante para uma maior ou menor eficiência na condução de calor. Assim como os cerâmicos, os polímeros são bons isolantes, principalmente com a presença de poros.

- **Difusidade térmica**

A difusidade térmica determina a relação entre a capacidade de um material armazenar energia e conduzi-la. Materiais que possuem baixa difusidade transferem mais lentamente as variações de temperatura entre as faces quente e fria.

- **Radiação**

A radiação é uma forma de propagação de calor que não necessita de um corpo material, sendo esta emitida na forma de ondas eletromagnéticas e/ou fótons, por todo material que se encontra em temperatura acima de 0 Kelvin. O fluxo de calor radiante está diretamente ligado com a emissividade do material, que corresponde à capacidade de uma superfície fornecer energia térmica, comparado com um corpo negro, sendo assim o tipo de material e seu acabamento devem ser considerados para a melhora da eficiência térmica em isolantes térmicos.

- **Convecção**

A convecção é uma troca de calor que ocorre entre dois corpos, sendo que um deles pelo menos deve ser um fluido. Em um primeiro momento a troca térmica entre os corpos se dá por condução, e posteriormente, em virtude de modificações no fluido, este se desloca de forma cíclica, formando correntes de convecção.

3.2 Isolantes térmicos

A ASTM C168 define isolantes térmicos como o material, ou conjunto de materiais que são utilizados para promover a resistência ao fluxo de calor.

Segundo Cruz (2009), os isolantes térmicos têm diversas finalidades, tais como condicionar a temperatura em um ambiente, conforto térmico, proteção de estruturas para evitar trincas por expansão térmica (dilatações em lajes), conservação e estocagem de alimentos, economia de energia, etc., e são largamente utilizados em diversas aplicações, como eletrodomésticos (geladeiras, freezers, climatizadores, etc.), automóveis, edificações, etc.

Nas edificações, Silva (2006) afirma que os isolantes térmicos têm como função retardar o fluxo de calor, reduzindo as trocas térmicas entre o exterior e o interior e a necessidade de sistemas de climatização. O autor ainda destaca que ao utilizar esses materiais conserva-se a energia com a redução das perdas de calor, se obtém controle da temperatura superficial de equipamentos e estruturas, controla-se processos químicos dependentes de temperatura, previne-se a condensação em superfícies e reduz-se as flutuações térmicas, melhorando o conforto térmico.

São considerados isolantes térmicos os materiais que apresentam, principalmente, elevada porosidade, condutividade térmica menor que $0,065 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ e resistência térmica maior que $0,5 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$. É esperado que, além da baixa condutividade e elevada resistência ao calor, estes também apresentem:

- Baixa massa específica;
- Incombustibilidade ou auto-extinguibilidade;
- Estabilidade química e física;
- Alto calor específico;
- Baixa difusividade térmica;
- Baixo coeficiente de higroscopicidade;
- Facilidade na aplicação;
- Resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos;
- Ausência de odor;
- Economia.

Contudo, como é difícil reunir este conjunto de fatores em um único material, deve-se procurar agregar o maior número destes quanto possível (Cruz, 2009).

Segundo a sua natureza, a origem dos isolantes térmicos pode ser mineral, vegetal ou sintética.

3.2.1 Isolantes de origem mineral

- **Lã de rocha**

A lã de rocha é um isolante térmico composto por fibras de origem mineral, formada a partir do basalto aglomerado com resinas orgânicas sintéticas, podendo ser utilizada em forros divisórias, dutos de ar condicionado bem como em tubulações de baixa, média e alta temperatura. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,04 (W/m°C). As principais propriedades deste material são:

- Excelente isolamento térmico e acústico;
- Neutralidade química, sendo pH neutro e não corrosível;
- Imputrescível;
- Anti-parasita;
- Incomburente;
- Não nociva à saúde (apesar de ser necessário o uso de vestimentas apropriadas para o seu manuseio);
- Não poluente;
- Bom custo benefício.

No mercado a lã de rocha pode ser encontrada na forma de painel (figura 2a), manta (figura 2b), manta revestida com plástico auto-extinguível (figura 2c), manta com kraft aluminizada, manta revestida com telas metálicas, tubos e calhas.

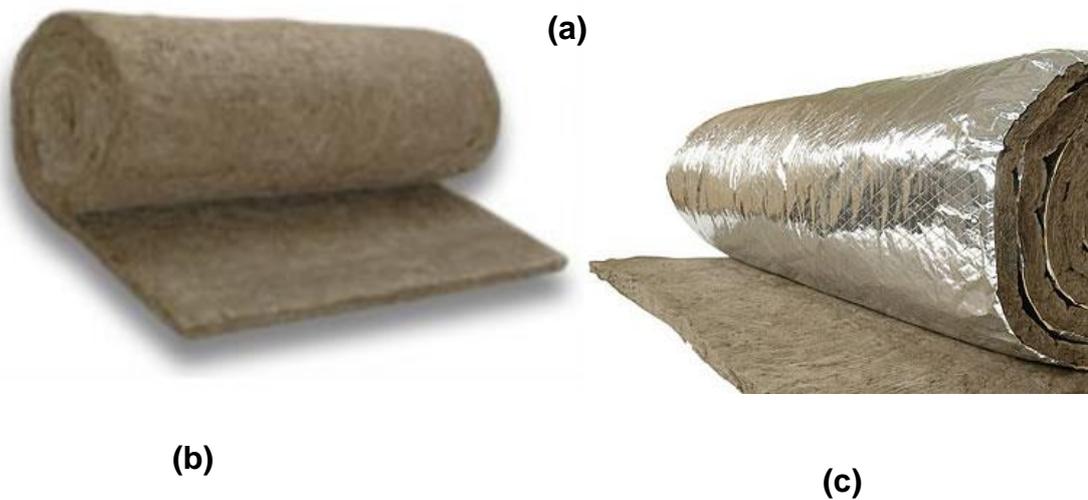


Figura 2 - Diferentes apresentações da lã de rocha.

Fonte: Isar - www.isar.com.br/images/slider/Image_SubCategory_27092012173631_03.jpg
Equipe de Obra - equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/43/imagens/i312068.jpg
Celprom - www.celprom.com.br/wp-content/uploads/2012/03/img_isopor.jpg

- **Lã de vidro**

A lã de vidro é um isolante térmico composto por fibras de origem mineral, formada a partir da sílica e sódio aglomerados por resinas sintéticas em um alto forno. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,04 (W/m°C). Dentre as suas principais características e vantagens estão:

- Facilidade na manipulação;
- Incombustível e não propagadora de chamas;
- Não passível de deterioração;
- Não favorece a proliferação de fungos e bactérias;

- Não perde suas propriedades em ambientes de alta salinidade;
- Não é atacada ou destruída por roedores.

No mercado a lã de vidro é comercializada na forma de painel (figura 3a), tubos (Figura 3b), manta, manta ensacada com polietileno, manta aluminizada (figura 3c), manta revestida com feltro e manta de fibro-cerâmica.

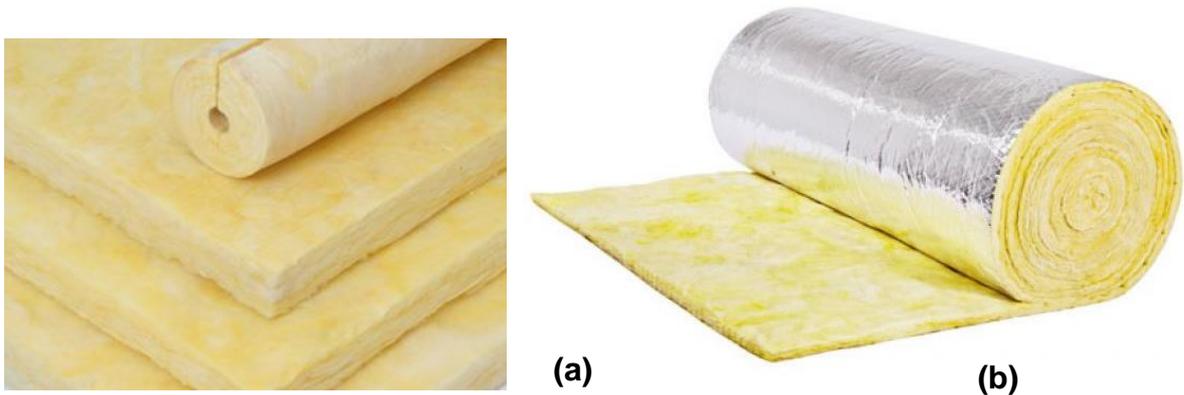


Figura 3 - Diferentes apresentações da lã de vidro.

Fonte: Isar - www.isar.com.br/images/slider/Image_SubCategory_27092012175849_01.jpg
 Construindo - <http://construindo.org/la-de-vidro/>

- **Vermiculita expandida**

A vermiculita expandida é um isolante térmico mineral da família das micas, que quando submetido a elevadas temperaturas expande-se até 20 vezes, devido à superposição das suas lamínulas, gerando poros de grande tamanho e aumento na sua capacidade de isolamento. Destacam-se como suas principais propriedades e características:

- Baixa densidade (entre 80 e 120 kg/m³)
- Baixa condutibilidade;
- Incomburente;
- Insolúvel em água;
- Não tóxico;
- Não Abrasivo;
- Inodoro;

- Não sofre decomposição, deterioração ou apodrecimento.

No mercado a vermiculita é comercializada a granel, na forma de placa (figura 4a) e de blocos (figura 4b).

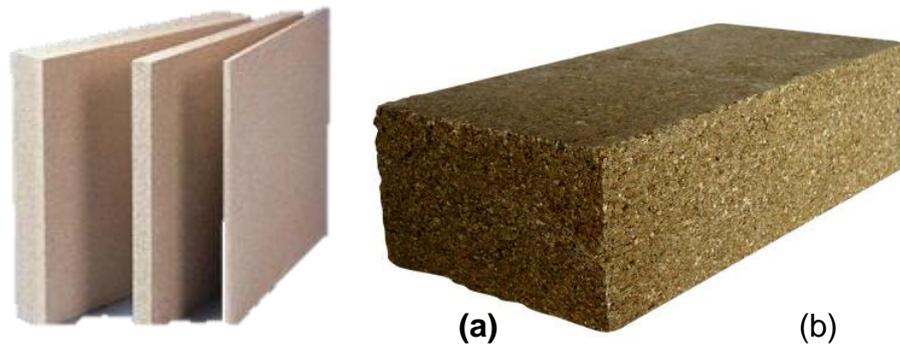


Figura 4 - Diferentes apresentações da vermiculita

Fonte: Sítio das Lareiras - www.sitiodaslareiras.com/artigos_isolamento.htm
Refratil - www.refrartil.com.br/images/produtos/vermiculita-expandida

3.2.2 Isolantes de origem vegetal

- **Cortiça**

A cortiça é um vegetal conhecido por sua baixa densidade, elasticidade, impermeabilidade e excelente desempenho termo acústico, propriedades resultantes de sua estrutura celular e seus constituintes. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de $0,045 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$.

Os painéis (Figura 5) obtidos a partir da prensagem da cortiça se destacam pelas propriedades térmicas, isolamento vibracional, prevenção de condensação, isolamento acústico, elasticidade, estabilidade dimensional, compressibilidade e imputrescibilidade.

É um material 100% natural que apresenta durabilidade ilimitada sem perder propriedades, podendo ser utilizado externamente em fachadas, e é reciclável.

Como inconveniente esse material é inflamável e possui maior peso se comparado a outros isolantes.

No mercado a cortiça é comercializada a granel e na forma de placa (figura 5).



Figura 5 - Placas de cortiça usadas como revestimento interno com a intenção de melhorar a eficiência térmica;

Fonte: Mendes (2012)

- **Fibras de coco**

Os isolantes de fibras de coco apresentam-se na forma de placas e painéis compostos com cortiça (Figura 6). As fibras de coco são constituídas basicamente de celulose e lignina. Estas são rígidas, versáteis por conta de sua resistência e resiliência, possuem propriedades acústicas e são de fácil reciclagem. As desvantagens desse isolante são a rigidez, que dificulta o corte, e a inflamabilidade. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,044 (W/m°C).



Figura 6 - Painel de Fibra de coco com interior de cortiça;

Fonte: Mendes (2012)

- **Fibras de celulose ou lignocelulósicas**

Os isolantes de fibras de celulose ou lignocelulósicas, ainda que possuam baixa densidade e condutibilidade, são raros e pouco difundidos. Os disponibilizados no mercado são oriundos do reaproveitamento do papel que é triturado e misturado a aditivos que minimizam os efeitos da ação do fogo e de microorganismos. As vantagens desse tipo de isolante são sua origem renovável, a sustentabilidade agregada e os riscos mínimos a saúde. Possuem como desvantagem a suscetibilidade ao fogo e a umidade. São comercializados na forma de flocos (Figura 7a).



(a)



(b)

Figura 7 - Isolantes térmicos a base de fibra de celulose (lignocelulósica) (a) na forma de flocos (b) aplicado no interior de paredes

Fonte: Alibada - portuguese.alibaba.com/product-free/isofloc-f-cellulose-insulation-material-for-blow-in-method-125935283.html

Widmer-holzbauag - www.widmer-holzbauag.ch/isofloc.html

3.2.3 Isolantes de origem sintética

- **Poliuretano**

Os isolantes térmicos de poliuretano são formados por um isocianato, um polioli e um gás expansível. Suas propriedades isolantes estão relacionadas ao elevado número de poros formados. São comercializados na forma de mantas

(Figura 8a) e tubos (Figura 8b) de espumas rígidas e flexíveis, protegidas da ação dos microrganismos, roedores e insetos. Possuem resistência química a maioria dos solventes e, segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,03 (W/m°C).



Figura 8 - Diferentes apresentações do poliuretano.

Fonte: Brasi Foam - spumacarautomotive.com/mercado.htm

Aecweb - www.aecweb.com.br/guia/p/isolantes-termicos_4_81_487_1_0

- **Poliestireno expandido**

O isolante de poliestireno expandido destaca-se por ser reciclável. Possui baixa densidade (sendo constituído de 98% de ar), grande capacidade de isolamento e baixo custo. Durante a reação química de expansão o seu volume chega a ser 50 vezes maior que o original, e os painéis são constituídos de diversas células fechadas. Suas características principais são a leveza, baixa condutibilidade, resistência e estabilidade estrutural, baixa absorção de umidade, resistência à ação de microrganismos, insetos e outros animais. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,04 (W/m°C). Comercialmente são obtidos na forma de placas (Figura 9)



Figura 9 - Placas de isolante de poliestireno expandido.

Fonte: Jonobras - <http://www.jonobras.pt/isolamentos-e-impermeabilizacoes/4438-poliestireno-expandido-eps.html>

- **Poliestireno extrudado**

O isolante de poliestireno extrudado (Figura 10) difere do poliestireno expandido porque não absorve água, não propaga chamas, não apodrece, é de fácil instalação e possui estrutura mais uniforme. É utilizado principalmente em fachadas e coberturas. Segundo Silva (2006), sua condutibilidade térmica é de 0,035 (W/m°C).

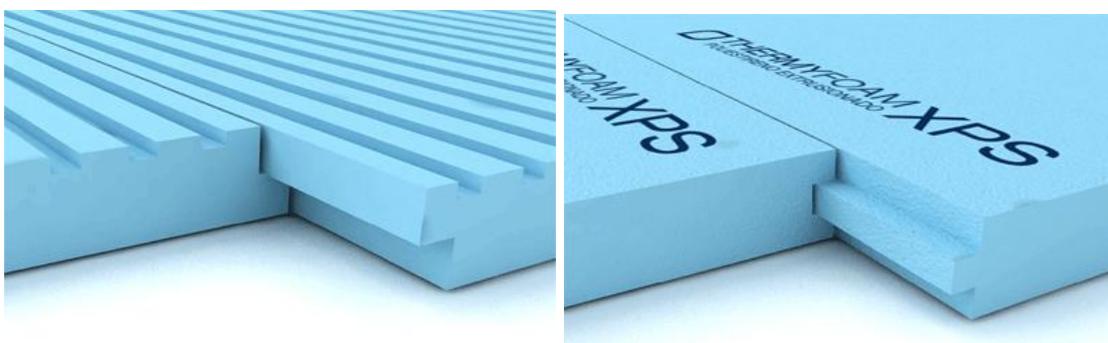


Figura 10 – Placas de isolante de poliestireno extrudado.

Fonte: Flickr - <https://www.flickr.com/photos/tags/alyson/>

3.3 A eficiência energética e o conforto térmico nas edificações

Segundo Ganhão (2011), com o aumento aparente do nível de vida e o conseqüente aumento da exigência de conforto térmico em conjunto com o desenvolvimento tecnológico, prevê-se que o consumo com climatização cresça gradualmente. Esse fenômeno já pode ser observado com o elevado uso de aparelhos de climatização decorrente das temperaturas cada vez mais elevadas no verão e mais baixas no inverno. Com isso o acréscimo no consumo por vezes ultrapassa a capacidade do sistema e tem gerado preocupação com relação aos impactos ambientais, e com isso a busca pela eficiência energética fica cada dia mais em evidência.

De uma forma genérica, a eficiência energética pode ser conceituada como a qualidade no uso da energia para os fins que ela serve a sociedade, visto que as atividades da sociedade, atualmente, são dependentes de uma ou mais fontes de energia.

A intensidade no consumo varia de acordo com diversos fatores, como aspectos geográficos, socioeconômicos, indicadores tecnológicos, etc., isso porque a população escolhe de acordo com suas necessidades um conjunto de bens e serviços responsáveis pelo consumo energético. Essas necessidades variam desde questões básicas como a conservação de alimentos, passando por mobilidade, itens de conforto, entretenimento, etc., e para promover a conservação da energia não devemos apenas eliminar itens de necessidade, mas sim buscar uma forma de fazer o mesmo com uma menor quantidade de energia, utilizando e desenvolvendo equipamentos e meios mais eficientes, consumindo energia moderadamente.

A importância da eficiência energética é tanta que ela está incluída no plano nacional de energia de longo prazo, que prevê ganhos decorrentes de progressos de eficiência. A figura 11 apresenta dados do Programa Nacional de Eficiência Energética (Procel) relativos ao perfil de consumo energético nos setores residencial, público e comercial, destacando o elevado percentual de energia

consumido para a climatização dos ambientes. O levantamento indica ser maior o crescimento do consumo de energia no setor residencial, sendo este de 55%.

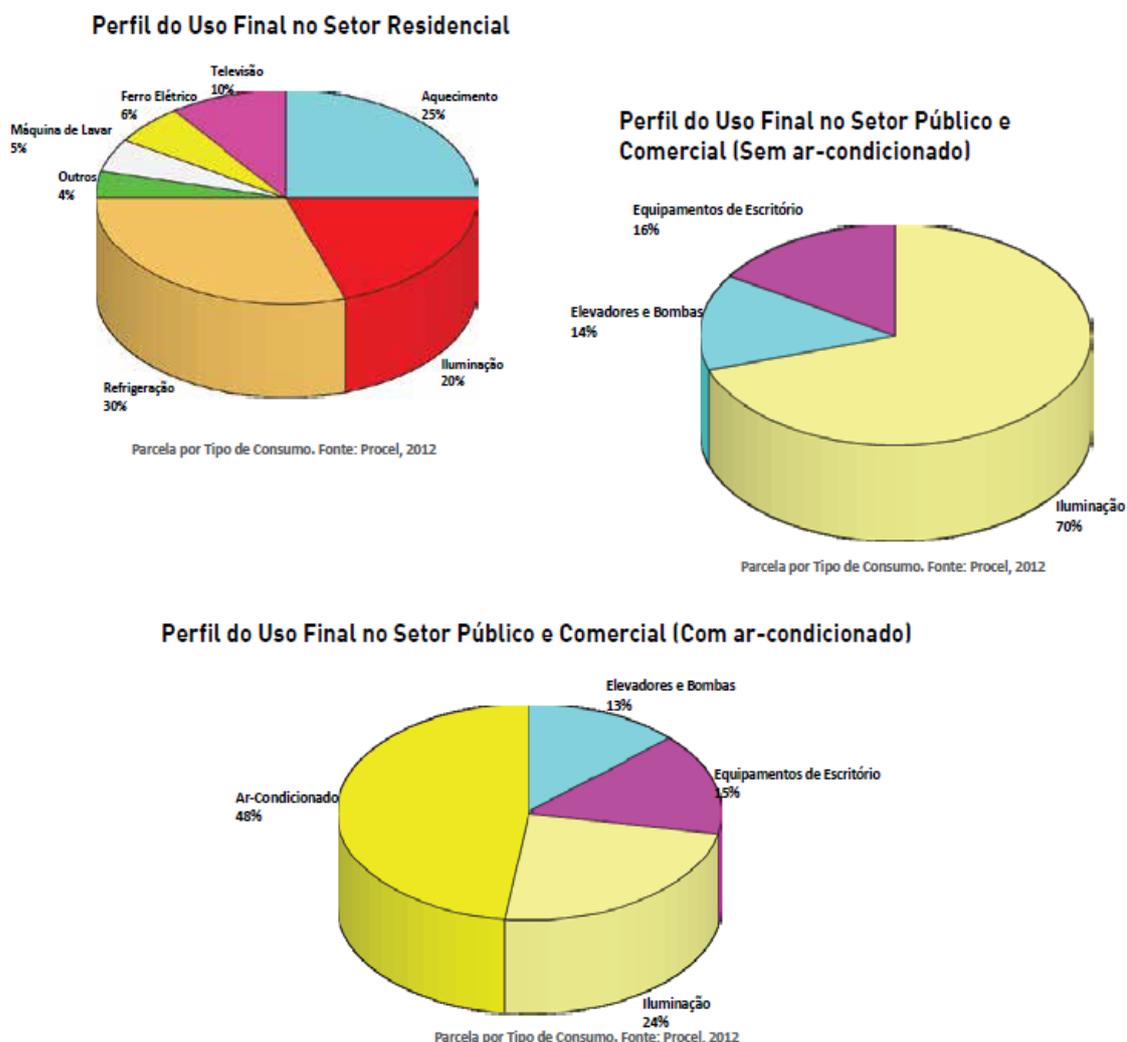


Figura 11 - Diferentes perfis de consumo energético no Brasil.

Fonte: Poliquezi (2012)

No setor residencial, até o final do século XX, o conforto térmico das edificações era obtido sem levar em consideração a eficiência térmica dos produtos utilizados, o que resultou em elevados índices de consumo e em desperdício acentuado de energia e de materiais.

Apesar de apresentarem grandes impactos ao meio ambiente, desde a sua construção até a sua demolição, os edifícios provocam os impactos ambientais mais

significativos durante a sua utilização, pois esta além de ser a fase mais duradoura de seu ciclo de vida é a que apresenta um maior consumo energético, como ilustra a figura 12, fruto dentre outros motivos da baixa eficiência energética dos produtos utilizados e do elevado consumo de energia para melhorar o conforto térmico.



Figura 12 - Consumo de energia em uma edificação de acordo com a fase na qual ela se encontra.

Fonte: Ganhão (2011)

À medida que a disponibilidade de energia foi se reduzindo ficou evidenciada a sua limitação e a necessidade de obtenção de eficiência energética nas edificações. Para promover o uso racional da energia nas residências, em 2003, o governo atuando de forma conjunta com os Ministérios de Minas e Energia, Ministério das Cidades, Universidades, Centros de pesquisas e entidades governamentais e da construção civil instituiu o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações, conhecido como “Procel Edifica, que promoveu ações junto a indústria, o comércio e a sociedade para a melhoria do rendimento de instalações e equipamentos elétricos e mecânicos, visando a redução do consumo de energia, dentro das normas e sem afetar a segurança, para garantir o fornecimento a longo prazo. A Procel estima ser possível reduzir consumo nas edificações novas e antigas em 50% e 30%, respectivamente, adotando os conceitos de eficiência.

Aprimorar a eficiência térmica em edifícios é uma tarefa complexa que depende de vários fatores que devem ser considerados:

- Forma e localização da edificação;
- Orientação e captação de energia solar;
- Tipo de material empregado;
- Uso ou não de isolantes térmicos internos e externos apropriados para a situação;
- Tipo de cobertura empregada;
- Quantidade de pavimentos;
- Vidros e janelas;
- Cor das paredes;
- Sistemas de ventilação natural e forçado;
- Sistemas de aquecimento e arrefecimento;
- Sistema de aquecimento de água;
- Sistemas de produção de energia renovável.

No Brasil, em geral, as características construtivas das edificações que apresentam materiais isolantes inadequados, bem como um péssimo aproveitamento da energia solar, afetam diretamente as condições de conforto das habitações e geram a necessidade de climatização ambiental artificial com efeitos diretos de aumento do consumo de energia. Atualmente, na construção civil estes aspectos já estão sendo observados e os materiais mais amplamente utilizados como isolantes térmicos são os naturais e os industrializados. Segundo Cruz (2006), entre os materiais naturais destacam-se a cortiça, penas de aves, cascas de cereais, argilas expandidas e fibras vegetais e no grupo dos industrializados destacam-se os isolantes de poliuretano, poliestireno expandido, lã de rocha e lã de vidro.

3.4 A ciência dos materiais, os compósitos e a reciclagem

Segundo Klein (2014), durante milênios, homínídeos utilizaram para os seus diversos afazeres materiais de origem natural, pois estes eram os únicos conhecidos e disponíveis que atendiam as necessidades rudimentares da época. A partir de 5000 aC., com a evolução do homem, começaram a surgir às primeiras ferramentas

e utensílios domésticos a base de argilas, metais e ligas. Com isso a sociedade passou a se desenvolver, produzindo alimentos em maior quantidade com uso de arados e explorando novas terras em embarcações ou em carroças.

Até o desenvolvimento da ciência moderna, o conhecimento sobre muitas coisas, inclusive os materiais, era empírico, muitas vezes tratado como alquimia. Com as primeiras leis da física e da química postuladas e de diferentes estudos sendo conduzidos por distintos cientistas à ciência e a tecnologia evoluíram permitindo chegar aos tempos modernos e a ciência dos materiais.

A ciência dos materiais, por sua vez, possibilitou maior evolução e o surgimento dos novos materiais, equipamentos e técnicas de análise.

O termo novos materiais, apesar de nas últimas décadas ser utilizado para se referir as novas tecnologias desenvolvidas e/ou materiais recentemente descobertos, não está restrito a isso. Também podem ser chamados de novos materiais, aqueles convencionais que passaram por melhorias no seu processo produtivo, resultando em um produto de maior qualidade ou melhores propriedades. Essas melhorias produtivas, bem como o desenvolvimento de novas tecnologias e a descoberta de novos materiais, só estão acontecendo em virtude das novas técnicas e análise disponível e dos novos equipamentos (KLEIN, 2014).

Dentre os intitulados como novos materiais se destacam:

- Fibras de vidro, poliamida (kevlar) e carbono utilizados como reforços em compósitos para os mais diversos fins como coletes a prova de balas, materiais esportivos de alto desempenho, componentes para a indústria automotiva e aeroespacial.
- Fibras têxteis e fios especiais, utilizados para a fabricação de roupas que absorvem o suor, tecidos bactericidas, etc.
- Fibras óticas largamente empregadas em sistemas modernos de comunicação, sendo as responsáveis pela interconexão virtual propiciada pela internet, com a capacidade de transmitir em um segundo, algo próximo de 200 livros de informação, por um cabo de poucos micrômetros de diâmetro.

- Fibras e partículas cerâmicas, poliméricas ou metálicas utilizadas como reforço em materiais compósitos, podendo utilizar matrizes poliméricas, cerâmicas ou metálicas, aprimorando as propriedades individuais de cada um destes. Com as diferentes combinações destes, foi possível desenvolver ferramentas de corte e abrasão, molas, engrenagens, rotores, etc. que há algumas décadas eram inconcebíveis.
- Semicondutores são à base da computação moderna e é uma das classes de novos materiais. Neles a chamada banda proibida é grande demais para permitir o fluxo de elétrons, mas não ao ponto de funcionar como um isolante, pois com a fonte certa de excitação os elétrons “saltam”. Dependendo da largura de banda do material ele pode ser utilizado em transistores, microprocessadores, sensores de alta sensibilidade, etc.
- Biomateriais que são também um vasto campo de pesquisa, visto que novos materiais são desenvolvidos para a restauração, reposição e/ou recuperação de órgão, tecidos ou função corporal. Cabe destacar que além de novos materiais, são estudados diferentes processamentos e métodos de utilização dos materiais já conhecidos para os fins biomédicos.
- Isolantes, materiais de elevado desempenho térmico, baseados em fibras de sílica, que revestem os ônibus espaciais e possuem não apenas resistência mecânica, mas elevada porosidade e baixíssima condutividade térmica.
- Compósitos, cujo advento deu-se na metade do século XX, quando passaram a produzir artificialmente materiais multifásicos projetados e engenheirados.
- Nanotubos de carbono são uma das alotropias do carbono, junto com o diamante, grafite, grafeno e fulerenos. Apresentam propriedades excepcionais, se comportando tanto como condutores de elétrons quanto como semicondutores. As aplicações para esse tipo de material é vasta, podendo atuar no melhoramento de propriedades mecânicas em compósitos, elétricas em dispositivos eletrônicos, bem como em biomateriais, visto que eles podem ser funcionalizados e utilizados em tratamentos médicos como drug delivery, scaffolds, etc.

A classe dos compósitos, comprovadamente, foi o fruto inovador da ciência que surgiu para atender as necessidades de propriedades específicas, muitas vezes

não usuais e até antagônicas, dos setores aeroespacial, bioengenharia, transportes, etc.. Santiago et al (2014) afirma que para os engenheiros aeroespaciais, por exemplo, a combinação de propriedades estruturais, baixo peso, resistência à abrasão e ao impacto, rigidez e resistência à corrosão são desejáveis, mas estas não se encontram juntas em um tipo específico de material convencional, coexistem apenas em materiais multifásicos, que apresentam uma parcela significativa das propriedades de cada uma das fases. O princípio de “soma” de propriedades é chamado de princípio de ação combinada.

Um compósito, além de multifásico e produzido artificialmente deve apresentar fases distintas, quimicamente diferentes e separadas por uma interface. Normalmente estão presentes apenas duas fases, uma contínua chamada de MATRIZ que envolve uma segunda fase chamada de FASE DISPERSA. As propriedades resultantes dependem principalmente das quantidades presentes de cada fase, das propriedades de cada um dos constituintes e da geometria, mas fatores, como por exemplo, a interação matriz e fase dispersa podem ser tão ou mais importantes dependendo da situação.

A figura 13 apresenta uma das formas de classificar os materiais compósitos, de acordo com o tipo de fase dispersa incorporado a matriz. É possível observar que além de tipos diferentes de reforços, eles podem se apresentar de tamanhos, forma e orientação diferentes, que vão influenciar nas propriedades finais do material, e devem ser consideradas quando se projeta um compósito.



Figura 13 - Classificação dos materiais compósitos;

Fonte: Callister (2012)

Vale ressaltar que além de classificados conforme o reforço, os compósitos podem ser classificados quanto a matriz utilizada (polimérica, cerâmica ou metálica) e ainda ser classificado de acordo com as características geométricas e espaciais da fase dispersa, conforme ilustra a figura 14.

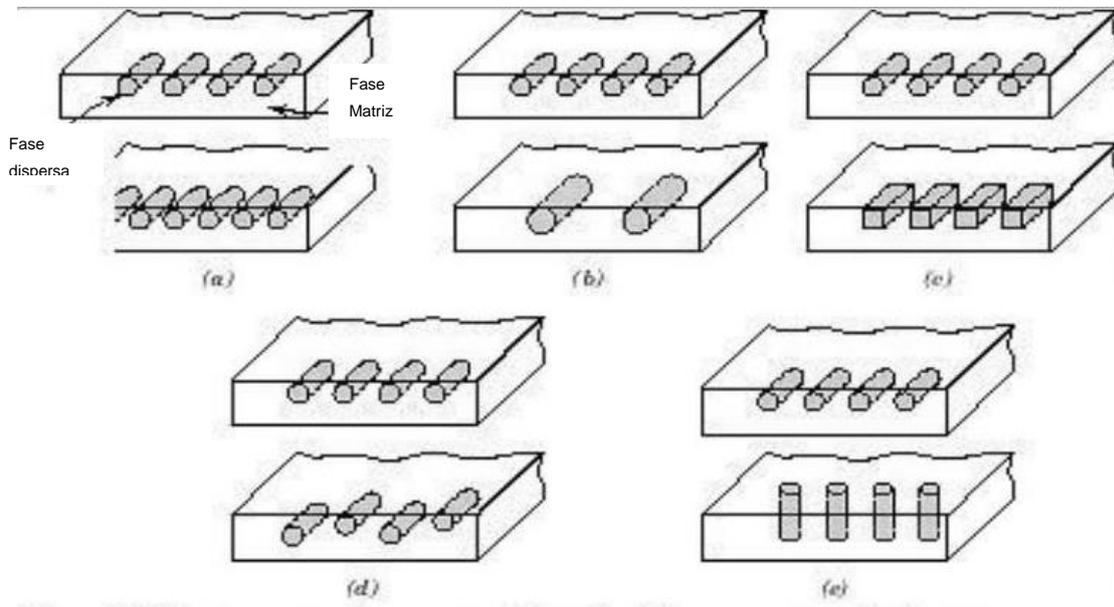


Figura 14 - Características geométricas e espaciais de partículas da fase dispersa: (a) concentração, (b) Tamanho (c) forma, (d) distribuição e (e) orientação;

Fonte: Callister (2012)

Dentre os desafios encontrados para os novos materiais estão o desenvolvimento de novas tecnologias com custo reduzido. Faz-se necessário, por exemplo, buscar soluções para o elevado consumo de energia e combustíveis, melhorar a relação resistência/peso nos materiais, aprimorando também propriedades térmicas, para uso, por exemplo, em turbinas de aeronaves, procurar por alternativas para materiais que são baseados em fontes não renováveis além de buscar soluções para os resíduos gerados pela produção de materiais e pelo descarte de materiais, sendo este e toda a questão ambiental o maior de todos os desafios.

Segundo Cruz (2009), são graves os problemas de gestão de resíduos sólidos em todo o mundo e, em especial, na América Latina, visto que milhares de toneladas são produzidas diariamente. De todos os resíduos os materiais poliméricos são considerados os maiores vilões da questão ambiental. Esse tipo de

material possui elevado tempo de degradação na natureza, contribuem para a proliferação de insetos, prejudicam a qualidade de vida de outros animais, podendo levar estes ao óbito quando ingerem resíduos descartados na natureza por confundí-los com alimentos.

Esta preocupação se avoluma quando constata-se que dentre as alternativas utilizadas na construção civil para melhorar o conforto térmico das edificações estão os polímeros de origem sintética que representam um elevado impacto ambiental desde a extração da matéria prima até o seu descarte.

No que tange a reciclagem e reaproveitamento dos resíduos sólidos existem diversas propostas, mas o interesse do setor produtivo para a produção de novos materiais com esta fonte de matéria prima é baixo, devido às dificuldades para a sua aquisição em conformidade e quantidade com as especificações necessárias. Além disto, muitas vezes o custo para produzir um material a partir de resíduos é maior se comparado com o uso de matérias primas “virgens”, pois são necessárias mais etapas de produção.

Contudo, mesmo que em muitos casos a utilização de resíduos seja menos interessante economicamente, existem pesquisas em centros universitários e de P&D de várias empresas do mundo por conta do acúmulo crescente destes. A exemplo disto, cita-se a recente notícia da parceria entre as empresas Ford Motors e Heinz para a utilização do resíduo das cascas de tomate da produção de catchup em compósitos poliméricos para o revestimento interno dos carros da montadora americana.

Campos (2010) et. al afirmam que a humanidade está consumindo cerca de 20% acima da capacidade produtiva do planeta, o que tem se convertido em sistemáticas agressões ao meio ambiente com as milhares de toneladas de resíduos produzidos. Afirmam também que boa parte do resíduo produzido nas residências é orgânica, que pode ser utilizado em aplicações como adubos para a produção agrícola ou como reforços em materiais compósitos, no caso de resíduos de fibras vegetais.

Segundo Silva e Jerônimo (2014), matérias primas na forma de fibras podem ser obtidas de resíduos orgânicos de diferentes processos industriais, e elas

apresentam grande potencial de uso na engenharia civil e de materiais, visto que elas apresentam excelentes propriedades físicas, podendo ser comparadas e até mesmo substituir as fibras de vidro e poliméricas como fase dispersa em compósitos.

As fibras vegetais podem ser adicionadas a matrizes poliméricas e cimentícias (figura 15) agindo como reforço primário, em materiais mais finos que não podem receber barras de reforço, sendo responsáveis por aumentar a resistência e ductilidade. Quando agem para controlar a fissuração, como por exemplo, em lajes, são chamadas de reforço secundário.

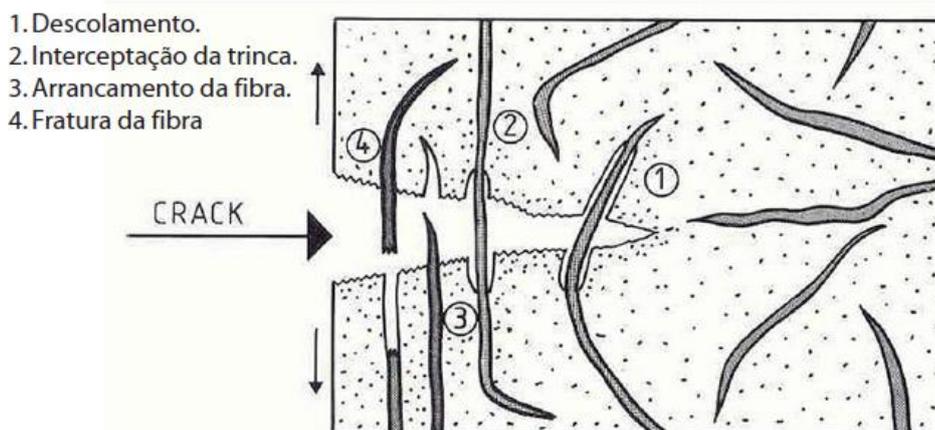


Figura 15 - Fenômenos que podem ocorrer durante a propagação de trincas em um compósito fibrocimento.

Fonte: Imai e Nii (2009)

O Brasil dispõe de grande potencial para contribuir com as soluções de uma série de problemas globais, como mudanças climáticas, extinção de espécies, etc. Para isso é necessário investimentos no desenvolvimento e produção de materiais e tecnologias. Dentre estas ações destaca-se as de desenvolvimento do mercado de tecnologias da indústria ambiental, que é um setor estratégico, tanto do ponto social, científico e econômico, onde são recomendadas ações para desenvolver materiais a partir da reciclagem e reaproveitamento de resíduos.

O Centro de Gestão de Estudos Estratégicos (2010) afirma ser de suma importância o desenvolvimento de materiais a partir de resíduos, visto que tal

iniciativa preserva o solo, água e a atmosfera, permitindo o desenvolvimento econômico e reduzindo o consumo de materiais, o que termina minimizando os impactos ambientais.

Um fator importante que levou aos estudos de fibras vegetais aplicadas aos materiais, além dos já citados, foi o banimento das fibras de amianto dos materiais fibrocimento. Segundo Pereira (2012), a necessidade de substituir o amianto conduziu a busca por matérias primas com propriedades similares e que propiciassem a mesma econômica.

Dos principais geradores de resíduos sólidos se destacam a indústria mineradora e o agronegócio, que são responsáveis por graves problemas ambientais, mas também podem ser excelentes fontes de matéria prima, como a sílica ativa oriunda da queima de cascas de arroz.

Dentre os resíduos do agronegócio temos o caso das cascas de coco, que representam um resíduo volumoso decorrente do elevado consumo de água de coco, principalmente em regiões litorâneas, representando, cerca de 70% dos resíduos produzidos nestes locais. A proporção de casca em relação à água de coco é de aproximadamente 4 para 1 (Figura 16), o que representa aproximadamente 1kg de resíduo para cada 250ml de água, um volume considerável que se tornou um problema para a coleta e descarte nos municípios (LAVOURA, 2012).

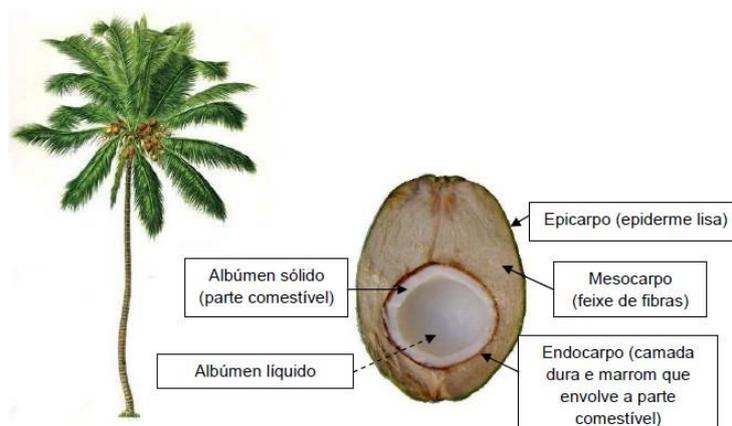


Figura 16 - Ilustração de um coqueiro e corte longitudinal de um coco, onde é possível observar a proporção entre a casca e a polpa.

Fonte: Pereira (2012).

Ao estudar as propriedades físicas e químicas de fibras de coco, Corradini (2009) et al observaram propriedades mecânicas superiores às encontradas em polímeros biodegradáveis. Na questão térmica eles observaram degradação em temperaturas entre 200°C e 550°C, sendo que essa variou conforme a composição e as condições de análise.

A utilização da casca do coco como matéria prima para a obtenção de fibras não apenas reduz o volume de lixo, mas ajuda na preservação do xaxim, espécie de árvore da mata atlântica ameaçada de extinção, a partir de sua utilização na produção dos vasos para plantas ornamentais (LAVOURA, 2012).

Outro exemplo de fonte de resíduos é a atividade industrial madeireira, que no Brasil é altamente geradora de resíduos. Se somarmos a estes os descartes produzidos por empresas de reprocessamento e resíduos urbanos da madeira o montante final é bem volumoso. Entretanto o percentual deste material que é aproveitado é muito baixo, contribuindo para maiores danos ao meio ambiente, perdas econômicas e energéticas. Vale ressaltar que o produto descartado é uma excelente fonte de matéria prima para diversas aplicações, além de ser fonte de energia renovável (WIECHETECH, 2009). A figura 17 apresenta a classificação dos tipos de resíduos de madeira.

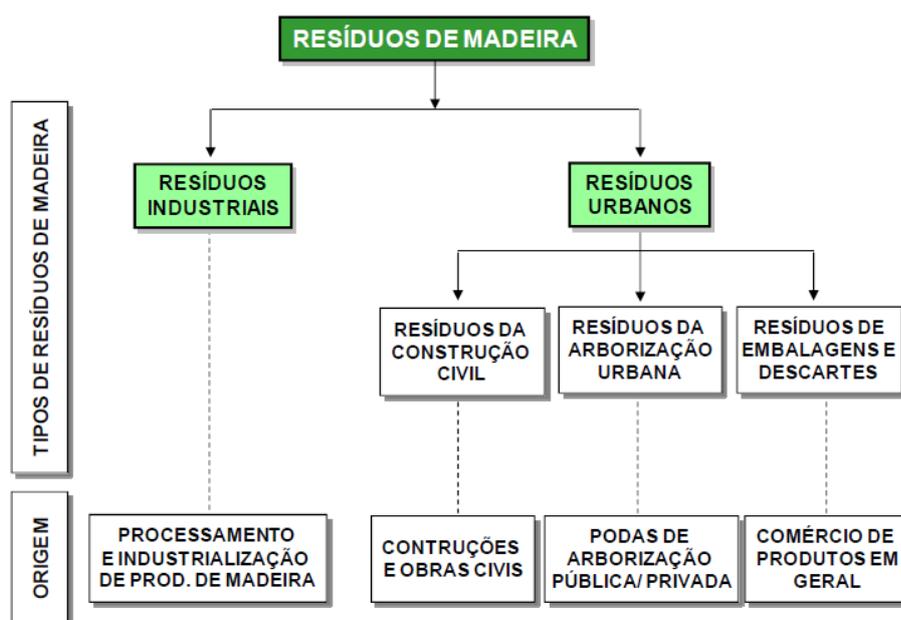


Figura 17 - Classificação dos tipos de resíduos de madeira

Fonte: Wiechetech (2009)

Segundo Campos (2010) et. al, as fibras vegetais representam um excelente material para compósitos, pois agregam excelentes propriedades físicas (biodegradabilidade, atoxidade, boas propriedades térmicas, etc.) e mecânicas com o apelo ecológico e com o baixo custo. Os autores desenvolveram estudos onde foram incorporadas fibras vegetais de coco ao concreto e conseguiram melhoras sensíveis nas propriedades mecânicas, e fibras vegetais de mandioca em argamassas de revestimento, onde obtiveram resultados de resistência à compressão e de retenção de água similares as do revestimento de cimento puro os resultados utilizando 10% de fibras. Para isso é necessário transformar resíduos em matéria-prima, podendo essa atividade melhorar o desempenho de negócios, ou até mesmo se tornar um negócio em si.

Em recente pesquisa, Beltran (2014) utilizou-se de fibras vegetais para a produção de placas termo isolantes (Figura 18) para serem usadas na construção civil. Na metodologia proposta foram extraídas fibras de talos de casca de banana e o material obtido foi adicionado em uma matriz de cimento branco não estrutural. A figura 19 apresenta os resultados obtidos para o compósito, mostrando que houve uma melhora substancial no desempenho térmico das placas que possuíam um maior teor de fibras.



Figura 18 - Placa termo Isolante de Cimento Branco não estrutural.

Fonte: Beltran (2014).

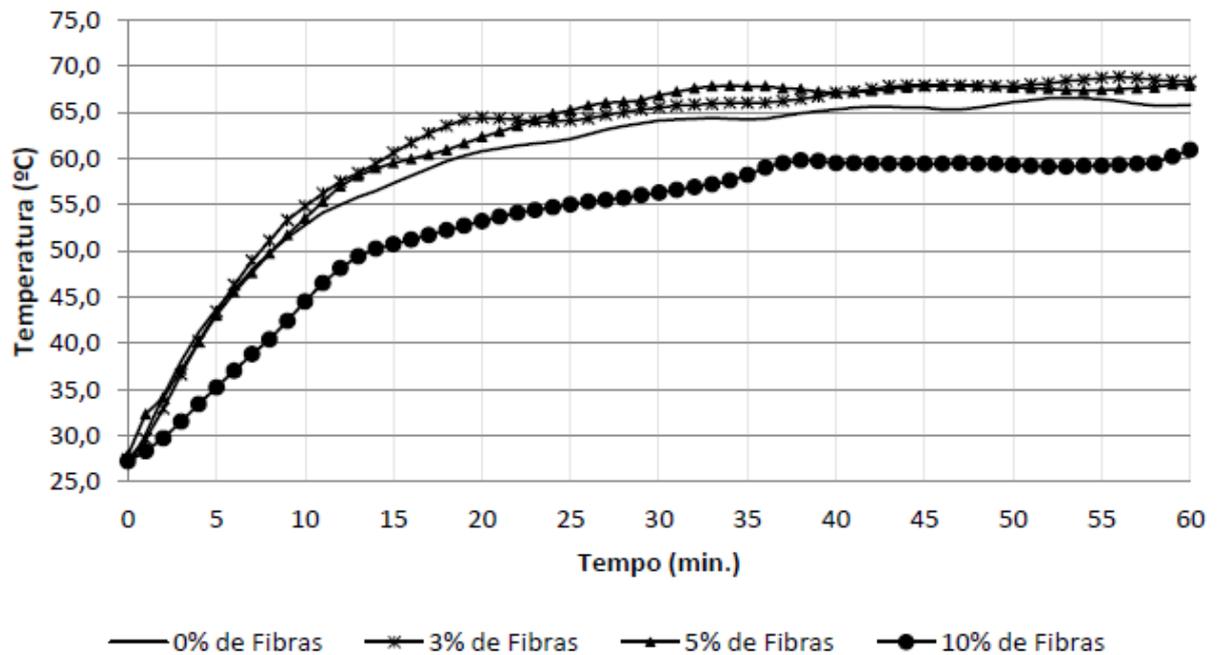


Figura 19 - Desempenho térmico de placas termo isolantes de cimento branco não estrutural aditivadas com fibras de talos de casca de banana.

Fonte: Beltran (2014).

Dentre as vantagens do uso de fibras vegetais em relação aos materiais sintéticos estão à conservação de energia, a abundância, o baixo custo, o fato de não ser prejudicial à saúde, a baixa densidade, a biodegradabilidade, etc. Já as desvantagens são a menor durabilidade, necessidade de tratamentos para aplicação e fraca adesão a diversas matrizes. Vale ressaltar que as propriedades das fibras variam de acordo com a sua origem, pois cada uma apresenta uma composição química diferente, que está diretamente ligada às propriedades finais obtidas e ao tempo de maturação da planta. As Tabelas 1 e 2 apresentam, respectivamente, dados de composição química e propriedades físicas e mecânica das fibras vegetais.

Tabela 1 - Composição química de diferentes fibras vegetais.

| Fiber | | α -Cellulose (%) | Hemi cellulose (%) | Lignin (%) | Ash (%) | Extracts (%) |
|--------------------------|---|-------------------------|---------------------|------------|-----------|----------------------|
| <i>Bark/stem fibers</i> | | | | | | |
| Bagasse (sugarcane) | B | 54.3–55.2 | 16.8–29.7 | 25.3–24.3 | 1.1 | 0.7–3.5 [@] |
| | O | 32–44 | 27–32 | 19–24 | 4.26 | |
| Bamboo | O | 33–45 | 30 ^{&} | 20–25 | | |
| Banana | O | 60–65 | 6–8 | 5–10 | 1.2 | |
| Jute | B | 60 | 22.1 | 15.9 | 1.0 | |
| | O | 59–71 | 12–13 | 11.8–12.9 | 0.7 | 0.5–2 |
| Ramie | O | 80–85 | 3–4 | 0.5 | | 6.4 |
| Piçava | B | 31.6 | | 48.4 | | |
| Rice straw | O | 51–70 | | 12–16 | 15–20 | 9–14* |
| <i>Leaf fibers</i> | | | | | | |
| Curauá | B | 70.7–73.6 | 21.1 | 7.5–11.1 | 0.79–0.9 | 2.5–2.8 [#] |
| Pineapple | B | 83 | | 12 | | |
| | O | 80 | | 12 | 0.1–1 | 4 |
| Sisal | B | 74–75.2 | 10–13.9 | 7.6–7.98 | | |
| | O | 60–67 | 10–15 | 8–12 | 0.14–0.87 | 1.7–6.0 |
| <i>Fruit/seed fibers</i> | | | | | | |
| Coir [@] | B | 43.4–53 | 14.7 | 38.3–40.77 | | 3.5 |
| | O | 43.77 | <1 | 45 | | 4.5 |
| Cotton Lint | O | 90 | 6 | | | 0.4 |
| <i>Luffa cylindrica</i> | B | 62 | 20 | 11.2 | 0.40 | 3.1 |

O – others, B – Brazilian; # – from unpublished work; * – silica; & – pentosans; @ – water-free sample.

Fonte: Satyanarayana (2007).

Tabela 2 – Propriedades físicas de diferentes fibras vegetais

| Fiber | | Density (kg m ⁻³) | Technical length (mm) | Diameter (µm) | Cell length (mm) | Diameter (µm) | Crystallinity (%) | Micro-fibrillar angle (θ) |
|-------------------------|---|-------------------------------|-----------------------|-----------------|------------------|---------------|-------------------|---------------------------|
| <i>Bark/stem fibers</i> | | | | | | | | |
| Bagasse (sugarcane) | | 450–492 | | | 0.8–2.8 | – | 47 | |
| | B | 1500 | 60 | 150 | | | | |
| Banana | O | 1350 | 10–300 | 50–250 | 3.4 | 12–30 | | 10–12 |
| | | 1450 | 60 | 18–20/ 20–30 | 2.3 | 25–30 | | 7–9, 17.1* |
| Ramie | | 1500 | 120 | 40–50 | 154 | | – | 7.5–12 |
| <i>Leaf fibers</i> | | | | | | | | |
| Pineapple | | 1440 | 20–80 | 1.56/4.5 | 10 | | | 8–15 |
| Sisal | B | 1260–1330 | 3 | 18/100–300 | 1–8/2.2 | 8–41/50 | 72.2 | 20 |
| | O | | | | | 15–30 | | |
| Curauá | | 920 | | 97 | | 7–10 | 75.6 | 18.8* |
| <i>Fruit/seed fiber</i> | | | | | | | | |
| Coir | B | 1390–1520 | 10–150 | 40–400 | | | 43–44 | 51 |
| | O | 1250–1500 | 20–150 | 100–450 | 0.75 | 12–14 | | 30–45 |
| Cotton | | 1510 | 35 | 19 | | 10–45 & | | 33–34 |
| <i>Luffa cylindrica</i> | B | 820 | | | | 25–60 | 59.1 | |

B: Brazilian; O: others; *: calculated.

Fonte: Satyanarayana (2007).

Segundo Pereira (2012), ao utilizar tratamentos nas fibras vegetais as propriedades se modificarão, influenciando na adesão entre a matriz e o reforço e nas propriedades dos materiais compósitos.

Em se tratando de compósitos de matriz cimentícia a adição de fibras provoca uma barreira para a propagação de trincas e auxilia na transferência de esforços, evitando que fissuras se abram, retardando a fratura. A ruptura ocorre progressivamente, pois as fibras formam pontes de transferência de carga e absorvem parte das solicitações. Além disto, estas propiciam maior resistência a impactos, maior absorção de energia e, quando aditivadas com fibras vegetais aumento na capacidade de isolamento térmico e acústico.

Silva (2004), afirma que a adição de fibras melhora a resistência, pois aumenta a ductilidade e absorção de energia, mas em longo prazo, os benefícios das fibras podem cessar devido à ação do hidróxido de cálcio do cimento na lignina e hemicelulose, provocando a hidrólise alcalina nas moléculas, enfraquecendo as ligações entre as células individuais, mas diversos estudos estão sendo conduzidos acerca das propriedades mecânicas de compósitos cimentícios.

Imai e Nii (2009) destacam que o uso de materiais cimentícios reforçados com fibras na construção civil tem apresentado crescimento, tendo em vista que diversas fibras apresentam potencial para serem adicionadas a compósitos cimentícios com melhorias de suas propriedades, tais como a ductilidade e o isolamento.

4. Materiais e Métodos

A figura 20 apresenta, resumidamente, as etapas de desenvolvimento do presente trabalho.

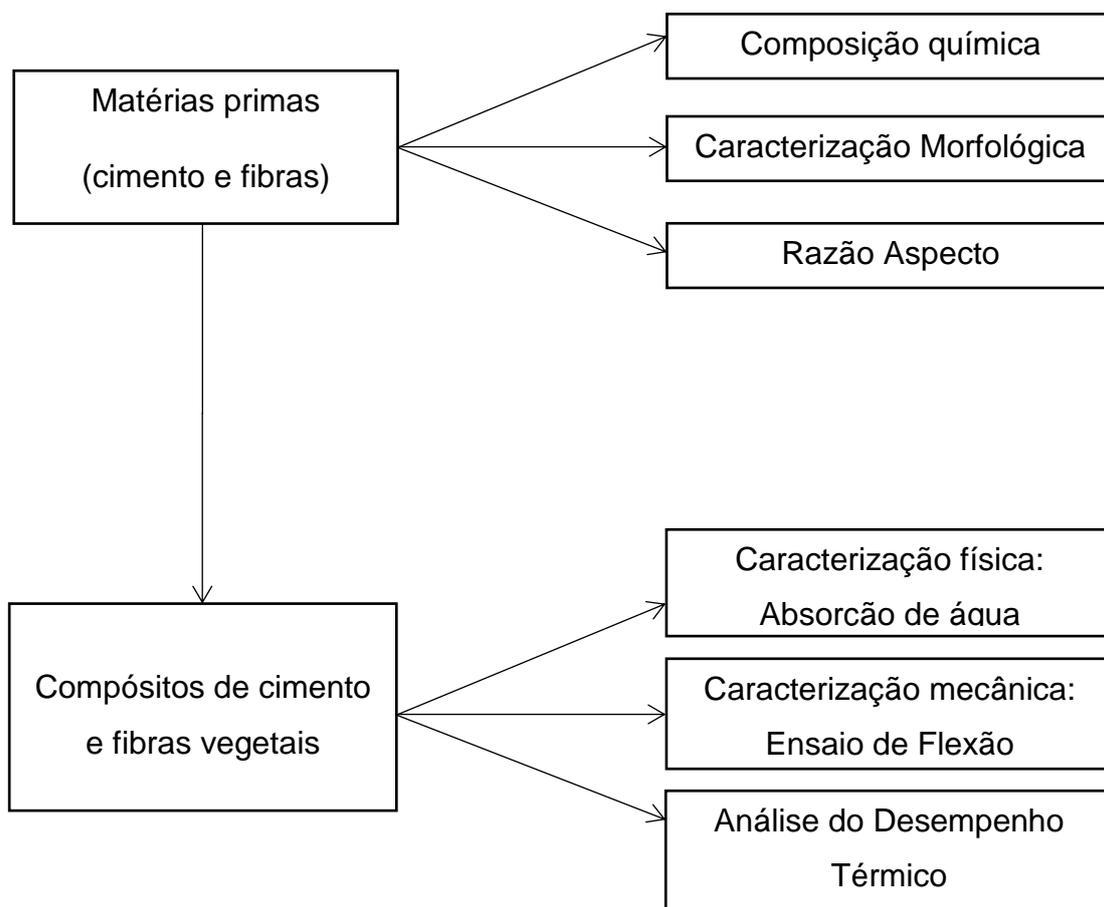


Figura 20 - Fluxograma com as etapas desenvolvidas no trabalho.

4.1. Matérias primas

As matérias primas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho foram o cimento branco estrutural e fibras de talos de casca de banana.

O cimento branco estrutural da marca Quartzolit foi obtido comercialmente na cidade de Pelotas/RS e não foi caracterizado laboratorialmente.

Para a obtenção de fibras de talos de casca de banana foi utilizada a metodologia descrita por Beltran (2012, 2014) e Paniz (2013, 2014).

Primeiramente os talos de casca de banana foram devidamente limpos e higienizados (Figura 21a). Em seguida os talos foram desmembrados (Figura 21b) e tiveram a película externa removida (figura 21c) para evitar a presença de resíduos. Posteriormente, visando à padronização do comprimento das fibras, os talos foram cortados (Figura 21d), com um centímetro de comprimento, e autoclavados (Figura 21e) em um autoclave da marca Phoenix modelo AV-18, sob calor úmido a temperatura de 127°C e pressão de 1,5 kgf/cm², por 4 horas.

Após a autoclavagem, os talos foram macerados mecanicamente em uma argamassadeira da marca Contenco, modelo I-3010, e lavados (Figura 21f) até que o material resultante estivesse isento da matéria orgânica indesejada, que foi oxidada na autoclave.

As fibras obtidas ao final desse processo foram colocadas em uma estufa com circulação de ar em temperatura de 100°C ±5 até estarem secas, para serem posteriormente caracterizadas e utilizadas como partículas de reforço em compósitos cimentícios.

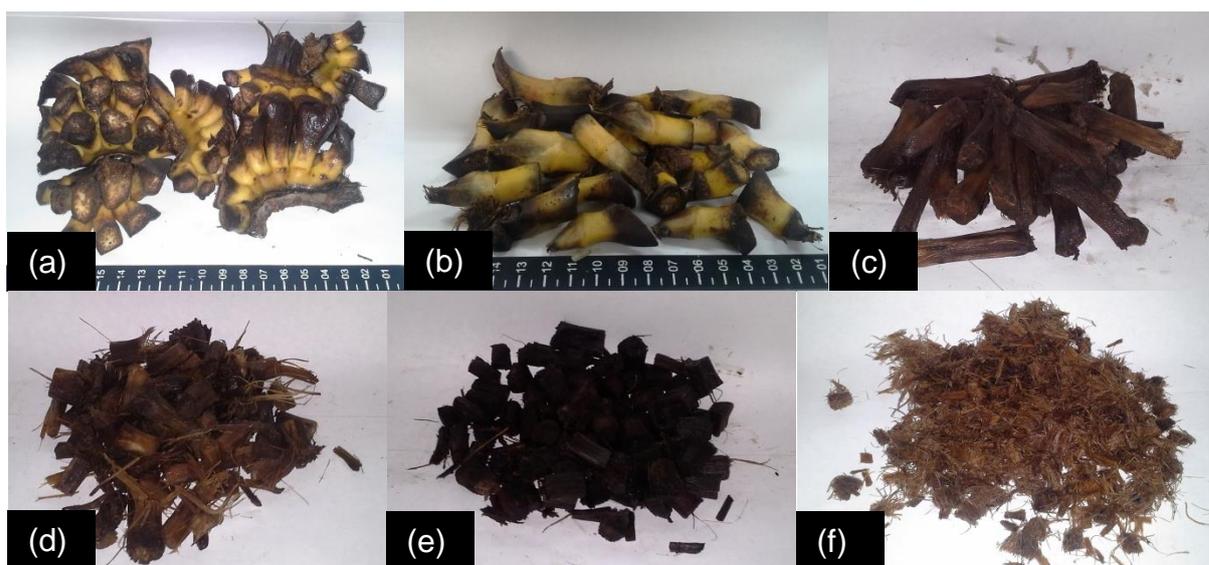


Figura 21 - Etapas para obtenção de fibras vegetais: (a) talos, (b) talos desmembrados, (c) Talos descascados, (d) Talos cortados, (e) talos autoclavados e (f) fibras maceradas e lavadas

4.2. Caracterização das fibras de talos de casca de banana

Na análise de **composição química das fibras** foram determinados os teores de extrativos solúveis e de lignina insolúvel (Figura 22). Os ensaios de caracterização foram feitos no Laboratório de Anatomia da Madeira do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da UFPel.



Figura 22 - Ensaio de teor de Extrativos solúveis e Lignina insolúvel

A determinação do teor de extrativos foi feita baseada na norma Tappi T207 om-93, onde uma amostra de massa conhecida foi submetida ao refluxo durante 6 horas com uma solução de Tolueno-etanol na proporção de 2:1v/v. Após a amostra é colocada em uma estufa a 100°C ±10, por 24 horas, e a diferença mássica indica o teor de extrativos solúveis, conforme equação 4.

$$\% \text{ de Extrativos Solúveis} = \frac{\text{Massa Seca} - \text{Massa após extração}}{\text{Massa Seca}} \times 100$$

Equação 4 - Cálculo do teor de Extrativos solúveis.

Para a determinação do teor de lignina insolúvel foi feito um ensaio baseado na norma Tappi T222 om-98, onde 1g de amostra livre de extrativos é colocada em uma solução de ácido sulfúrico 72% por 2 horas. Após isso foi adicionado 560ml de água destilada e colocado em um balão por 4 horas em refluxo. Ao final do refluxo a solução é filtrada em filtros de cerâmica porosa nº 3, já previamente seco e pesado, sendo este colocado na estufa a 100°C ±10 após a filtragem, por 24 horas. O teor de lignina é determinado pela relação entre a massa inicial de fibras e a diferença entre os cadinhos antes da filtragem e após a filtragem.

$$\text{Teor de Lignina Insolúvel} = \frac{\text{Peso Final}}{\text{Peso Inicial}} \times 100$$

Equação 5 - Cálculo teor de lignina insolúvel.

Para a **determinação da morfologia das fibras** fez-se análise de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura. Os ensaios de microscopia ótica foram feitos no Laboratório de Anatomia da Madeira na Engenharia industrial Madeireira e no Laboratório de Aulas Práticas da Engenharia de Materiais da UFPel e os de microscopia eletrônica de varredura foram executados no Microscópio Eletrônico de Varredura da Engenharia de Materiais da UFPEL.

A morfologia é um aspecto importante para esse trabalho, visto que a presença de vazios e poros no interior das fibras é benéfica para a aplicação como termo isolante.

Para análise por microscopia ótica as fibras foram maceradas em meio ácido, que nos permitiu visualizá-las de forma isolada, isso porque as fibras obtidas são na verdade um agrupamento de microfibras, ligadas pela lignina em uma espécie de feixe.

Para isolar as microfibras de forma que elas pudessem ser visualizadas em um microscópio ótico da marca Olympus e modelo BX41M-LED, o material obtido após autoclavagem, maceração e lavagem foi dissociado em solução ácida. A referida solução era constituída de ácido acético glacial, água destilada e ácido nítrico na proporção de 6:6:1 v/v. Após a dissociação, o material foi filtrado, lavado

com água destilada, corado utilizando uma solução de Vermelho Congo e desidratado em álcool.

Para a análise por microscopia eletrônica de varredura a fibra vegetal foi utilizada na forma como foi obtida. Para ser observada no microscópio da marca Shimadzu modelo, SSX-550, as fibras foram fixadas em um porta amostra e metalizadas com uma fina camada de ouro, para tornar a superfície do material condutora, passível de ser observada no equipamento.

Para a **determinação da razão de aspecto das fibras** utilizou-se a equação 7, que calcula o valor adimensional entre o comprimento e largura.

$$\text{Razão aspecto} = \frac{\text{Comprimento da partícula}}{\text{Diâmetro da partícula}}$$

Equação 6 - Cálculo para razão de aspecto;

O valor da razão aspecto é utilizado para justificar as propriedades mecânicas do compósito, tendo em vista a influência do comprimento da fibra. Quanto a razão aspecto, se os valores se aproximam de 1 a fase dispersa é considerada do tipo particulada, se são inferiores a 100 indicam fibras curtas e se tende ao infinito trata-se de fibras longas.

Para a determinação da razão aspecto foi necessário embutir fibras em uma matriz de resina de poliéster (Figura 23a) e, após a cura do polímero, foram feitos diversos cortes transversais (Figura 23b) com o auxílio de uma serra com disco diamantado. Com o auxílio de um microscópio ótico foi extraído um conjunto de aproximadamente 45 imagens dos cortes transversais das fibras e, utilizando um software de tratamento de imagem (ImageJ) foi estimado a área de cada secção, sendo posteriormente calculada a área média das secções conforme a equação 8.

$$\text{Área média de Secção} = \frac{\sum \text{área de secção}}{n^{\circ} \text{ de amostras}}$$

Equação 7 - Área média de secção transversal das fibras obtidas

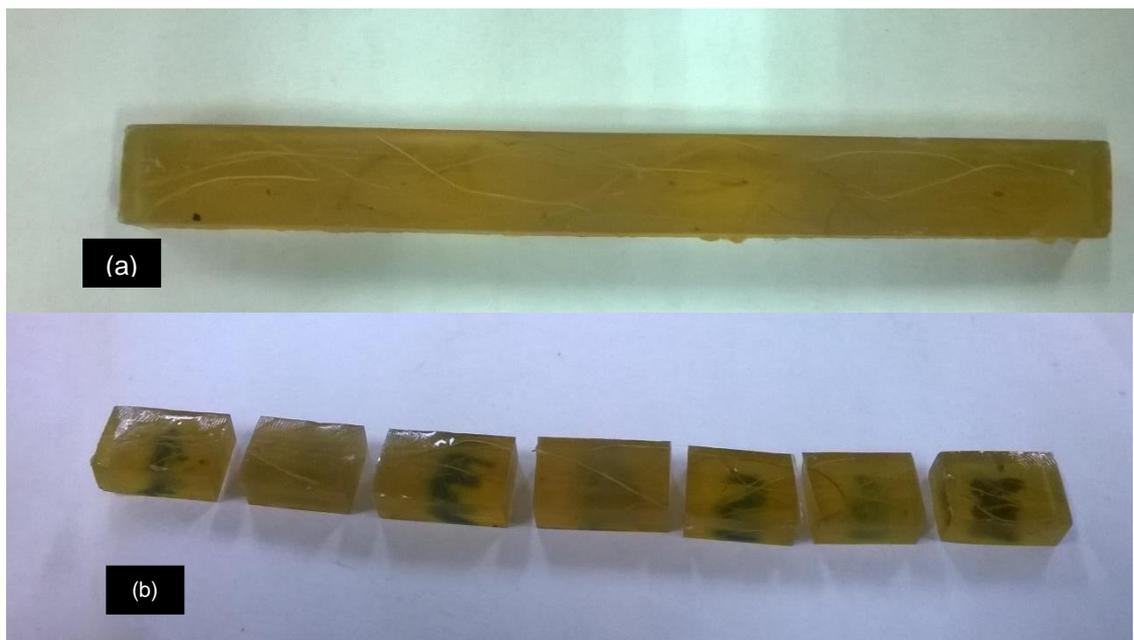


Figura 23 - Preparação de amostra para análise da área de secção das fibras (a) fibras embutidas em resina e (b) cortes transversais analisados.

Para uma melhor visualização e distinção das fibras na resina, estas foram coradas com vermelho congo. A Figura 24 mostra algumas imagens obtidas por microscopia ótica, em um microscópio da marca Olympus modelo BX41M-LED. Os ensaios de microscopia realizados nesta etapa também foram feitos no Laboratório de Anatomia da Madeira do Curso de Engenharia Industrial Madeireira e no Laboratório de Aulas Práticas do curso de Engenharia de Materiais ambos da UFPEL.

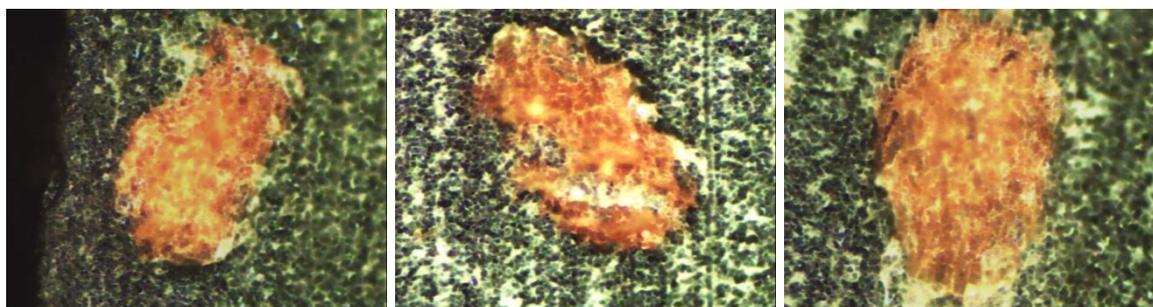


Figura 24 - Secção de fibras vegetais coradas.

Em virtude da irregularidade apresentada pela secção das fibras (consequência delas serem um agrupamento de diversas microfibras), para determinar a razão aspecto o diâmetro foi estimado baseado na área média das fibras, conforme a equação 9.

$$Diâmetro\ estimado = 2 \times \sqrt{\frac{Área\ média\ de\ secção}{\pi}}$$

Equação 8 - Determinação para o diâmetro estimado das fibras.

4.3 Obtenção dos compósitos de cimento e fibras vegetais

Para a obtenção dos compósitos de cimento branco estrutural aditivados com fibras vegetais de talos de casca de banana foram elaboradas três formulações de massa, conforme tab. 3.

Tabela 3 - Formulações de massa dos compósitos testados;

| Formulação | Teor de Fibras | Relação Cimento/Fibra (massa/massa) | Fator Água/Cimento (massa/massa) |
|------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| F01 | 0% | 100/0 | 0,30 |
| F02 | 5% | 95/5 | 0,50 |
| F03 | 10% | 90/10 | 0,50 |

A mistura das massas foi feita com o auxílio de uma argamassadeira da marca Contenco, modelo I-3010. Primeiramente foi misturado o cimento e a água, formando uma massa pastosa e homogênea. Após foram adicionadas às fibras nas proporções estabelecidas, até que ocorresse a total mistura de todos os componentes.

4.4 Caracterização dos compósitos de cimento e fibras vegetais

Para a caracterização física, mecânica e térmica dos compósitos propostos foram confeccionados cinco placas com dimensões de 100 mm x 100 mm x 12 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente) cada uma, utilizando-se uma forma com base de MDF revestida com fórmica (para evitar a absorção da água da massa cimentícia) e laterais em perfis de alumínio (Figura 25), construída no curso de Engenharia de Materiais da UFPel. Para cada formulação foram confeccionados cinco placas.

A definição do formato dos corpos de prova em placas se justifica pelo interesse em testar os compósitos para uso como isolantes de paredes painéis, onde ocorrem reduzidas espessuras.



Figura 25 – Forma utilizada na confecção das placas.

Para a confecção das placas, inicialmente, foi aplicado um desmoldante na base e nos perfis de alumínio das formas. Após, a massa do compósito foi colocada na forma até o seu preenchimento total. Durante as primeiras 24 horas, a forma foi envolvida em um filme plástico, para evitar a perda de umidade que poderia levar a hidratação incorreta do cimento. Após esse período, as placas foram removidas do molde e curadas por 28 dias ao ar no ambiente climatizado do laboratório de aulas

práticas do curso de Engenharia de Materiais, a uma temperatura de 23°C e umidade relativa de 60%. A figura 26 apresenta as placas confeccionadas com idades de 28 dias.

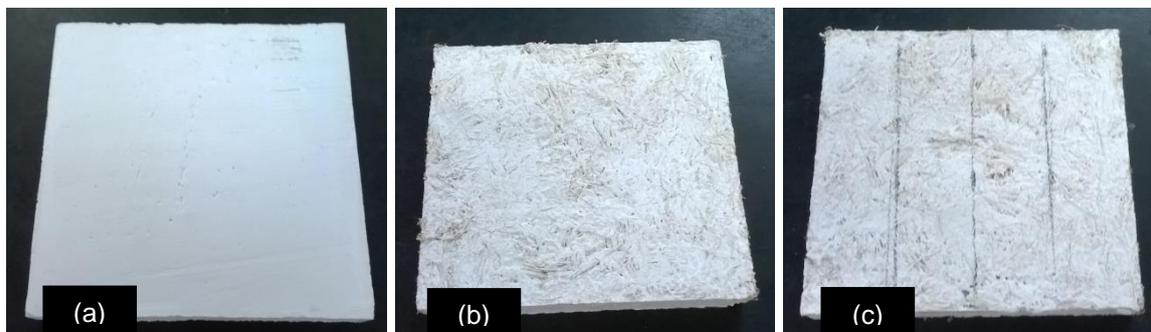


Figura 26 - Placas com (a) 0%, (b) 5% e (c) 10% de fibras após 28 dias de cura

A análise do **desempenho mecânico dos compósitos foi medida através do ensaio de flexão a 3 pontos**, utilizando uma máquina de ensaio universal da marca Instron, modelo E3000 (Figura 27). O ensaio não foi baseado em nenhuma norma, tendo apenas como objetivo avaliar a diferença no comportamento entre eles. Foram ensaiados 12 corpos de prova, 4 de cada formulação. Utilizou-se como parâmetro de ensaio a velocidade de 2,8mm por minuto até a ruptura do corpo de prova. Para a análise foram confeccionados quatro corpos de prova (Figura 28) a partir de uma das placas produzidas, nas dimensões de 100 mm x 25 mm x 12 mm (comprimento, largura e espessura, respectivamente).



Figura 27 - Placa cimentícia cortada para ensaio de flexão a 3 pontos;



Figura 28 - Ensaio de flexão de 3 pontos.

A **determinação da absorção de água dos compósitos** foi feita por imersão em água. Após o ensaio de flexão, os corpos de prova (8 com 0% de fibras, 5 com 5% de fibras e 4 com 10% de fibras) foram secos em estufa a $100^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, por 24 horas, colocados em um dessecador para resfriarem e, posteriormente foram pesados para a determinação de sua massa seca. Em seguida todas as amostras foram colocadas em uma bandeja e imersas em água destilada (Figura 29b) por um período de 24 horas.



Figura 29 - Ensaio de absorção de água: corpos de prova secos (a) e imersos em água (b).

Após o período de imersão, os corpos de prova foram retirados da água, tiveram o excesso de líquido removido com a ajuda de um pano de algodão e foram pesados para determinar o seu peso úmido. A equação 10 demonstra a forma como o foi calculado o percentual de absorção de água.

$$\text{Teor de Umidade (\%)} = \frac{\text{Peso úmido} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso}} \times 100$$

Equação 9 - Cálculo do teor de absorção de água.

A **análise de desempenho térmico dos compósitos** foi feita em um equipamento elaborado no laboratório do Curso de Engenharia de Materiais, conforme esquema apresentado na figura 30, onde a fonte de aquecimento foi mantida em uma temperatura constante. Para isso utilizamos uma chapa de aquecimento regulada em $75^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$. A aferição da temperatura foi feita com um termopar tipo K e um leitor apropriado. Sobre a fonte de aquecimento foram colocados os materiais em análise (com teores de 0%, 5% e 10% de fibras), e com o auxílio de outro termopar, a temperatura na face oposta à fonte quente foi medida minuto a minuto, assim como Beltran (2014). Vale ressaltar que todo o sistema foi isolado com blocos e lã cerâmica.

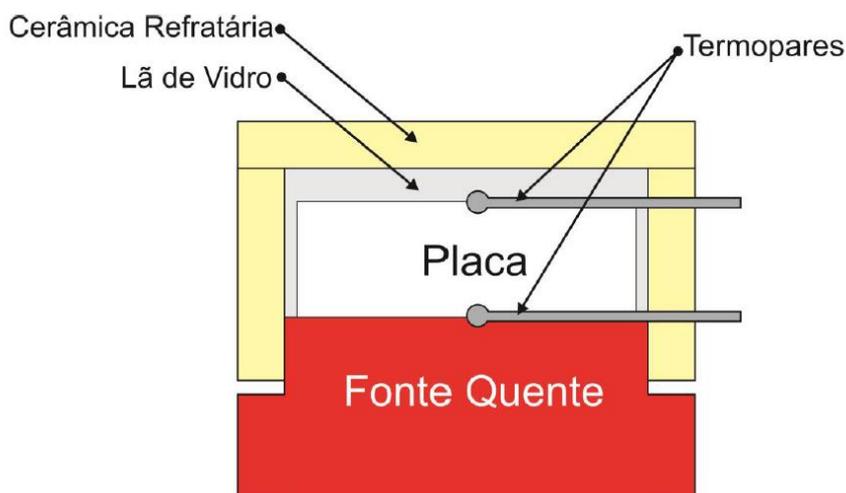


Figura 30 - Esquema do aparato utilizado para medir o desempenho térmico dos compósitos.

Fonte: Beltran (2014).

A avaliação do desempenho térmico considerou a diferença entre a temperatura média da fonte quente durante o ensaio e a temperatura registrada na face fria, sendo calculada conforme a equação 11.

$$\% \text{ de Calor retido} = \left[1 - \left(\frac{\text{Temperatura na face Fria}}{\text{Temperatura média na fonte quente}} \right) \right] \times 100$$

Equação 10 - Cálculo do percentual de calor retido pelas placas;

4.5 Limitações da Pesquisa

Diversos foram os contratempos enfrentados durante o desenvolvimento do presente trabalho. Dentre estes cita-se abaixo fatos relevantes na análise dos resultados da pesquisa:

- Não foi considerado no ensaio de desempenho térmico o coeficiente de condutividade.
- A matriz utilizada para o compósito ficou restrita ao cimento branco estrutural. Na continuidade desse estudo trabalharemos também com diferentes tipos de cimento e materiais poliméricos como matriz.
- A porosidade e densidade apesar de relevantes para a eficiência termo isolante não pode ser medida, devido à indisponibilidade de equipamentos adequados.

5. Resultados e Discussão

5.1 Caracterização das fibras vegetais

A **composição química** das fibras vegetais, quanto ao teor de extrativos solúveis e lignina insolúvel esta apresentada nas figura 31 e 32.

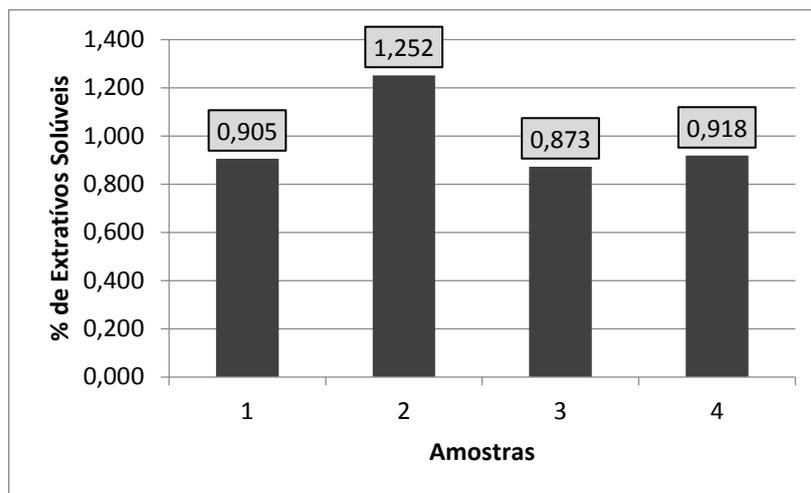


Figura 31 - Gráfico de teor de extrativos solúveis.

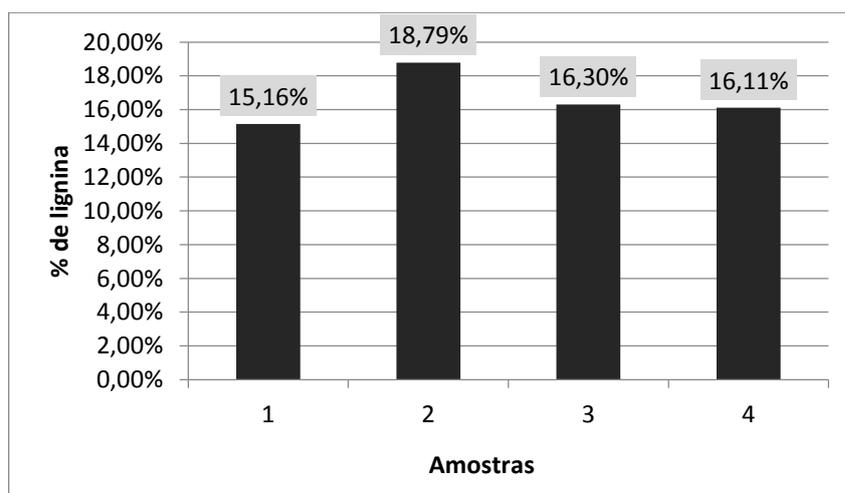


Figura 32 - Gráfico do teor de lignina insolúvel.

Os valores médios obtidos para extrativos solúveis e a lignina de 1,01% e 16,75%, respectivamente, são similares aos encontrados por Beltran (2014), que se apresentam com 1,24% e 16,70%, respectivamente. Os resultados indicam que o processo usado para a obtenção das fibras vegetais foi adequado porque estas mantiveram alto o teor de lignina, cuja função é segundo Santos (2001) dar rigidez, força e flexibilidade à parede celular, auxiliar no transporte de água, servir como uma barreira à degradação enzimática da parede celular e proteger contra ataques de insetos e microorganismos patogênicos.

As figuras 33, 34, 35 e 36 apresentam a **morfologia das fibras vegetais** a partir das micrografias obtidas por microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Nestas é possível observar-se a presença de fibras isoladas, de microfibrilas, a parede celular e a cavidade central da fibra vegetal, chamada lumem.

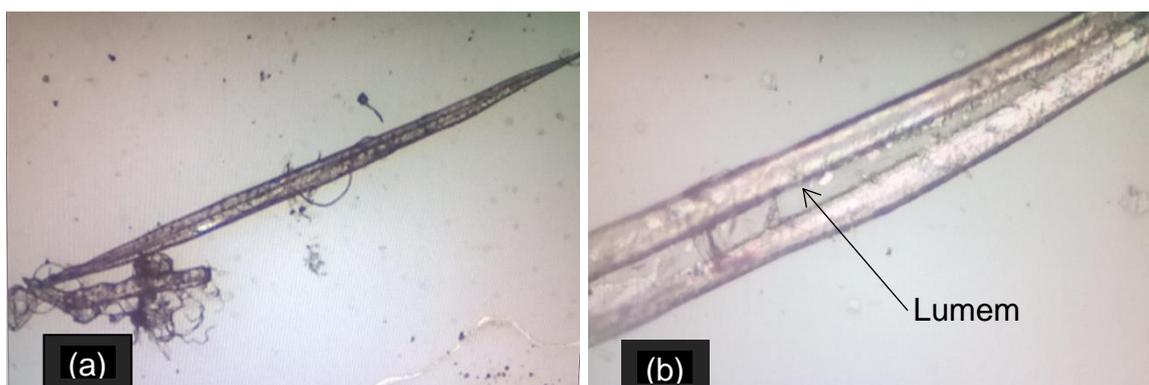


Figura 33 – Micrografia da fibra vegetal isolada obtida por microscopia óptica (a) aumento de 40x; (b) a cavidade interior, aumento de 200 x.

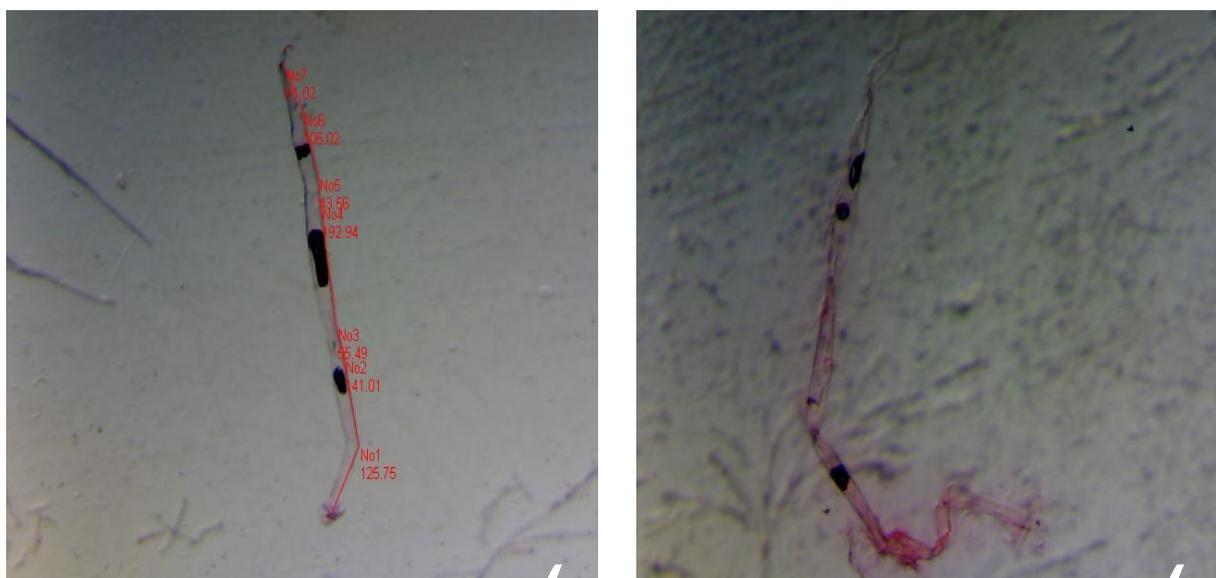


Figura 34 – Micrografia de fibra isolada obtida por microscopia óptica, aumento de 40x.

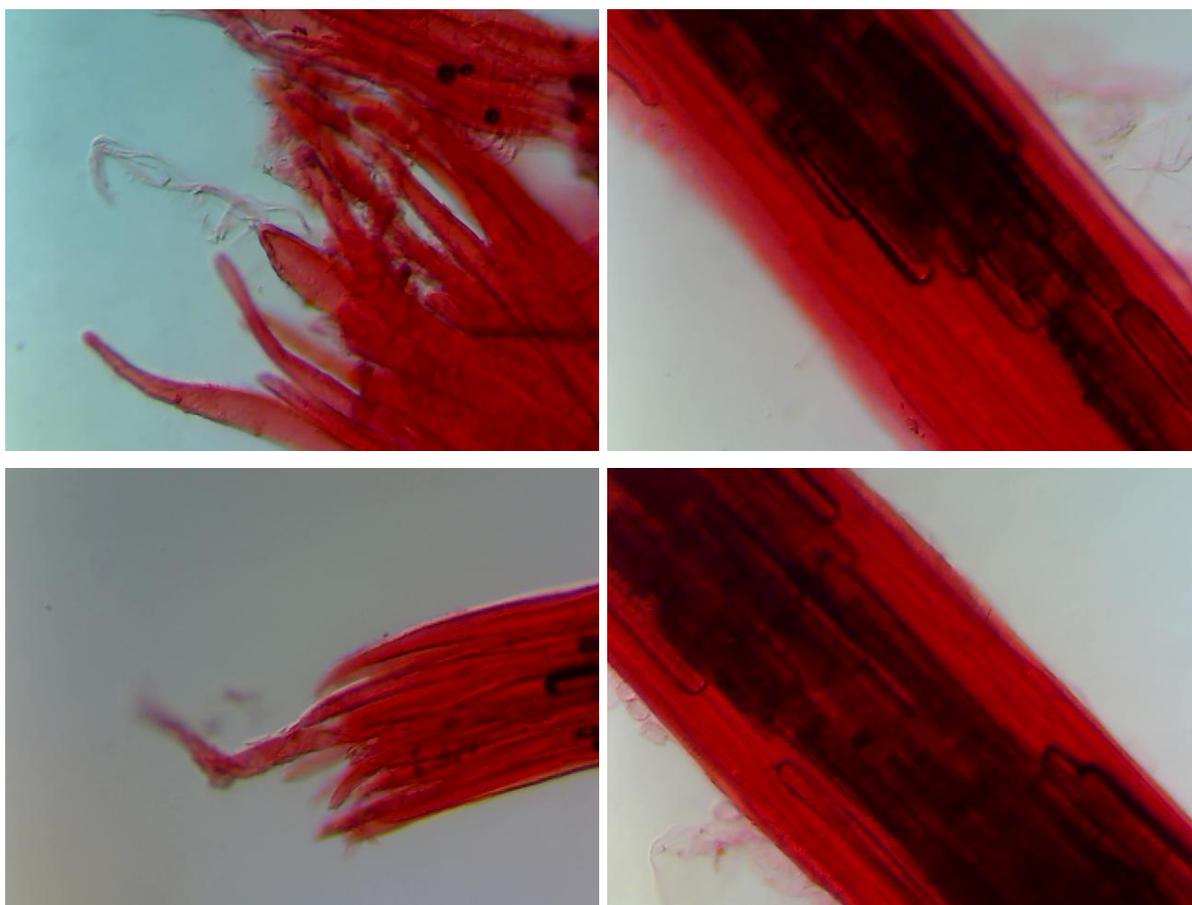


Figura 35 – Micrografia das microfibrilas da fibra vegetal obtida por microscopia óptica, aumento de 40x.

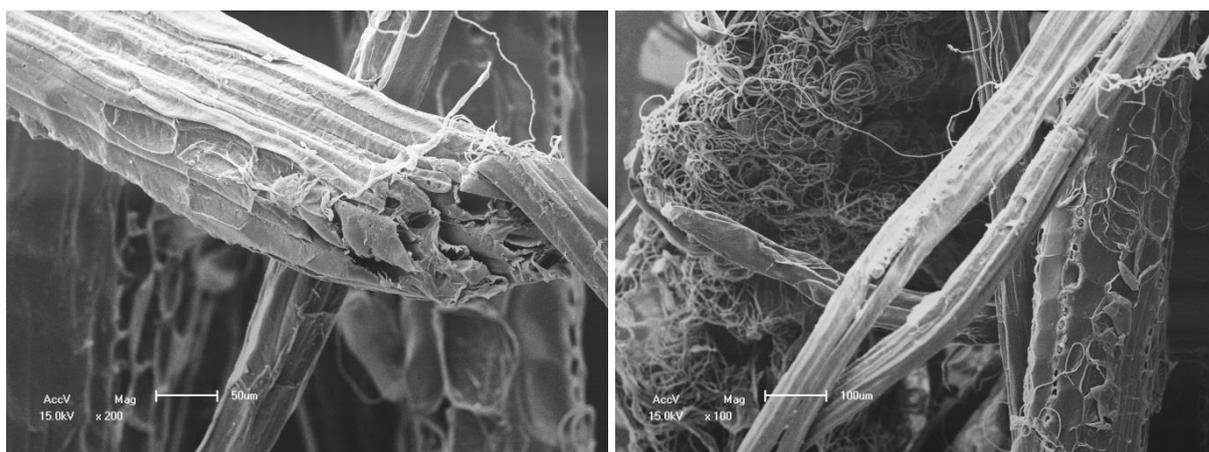


Figura 36 – Micrografia da fibra vegetal obtida por microscopia eletrônica de Varredura;

A análise das imagens obtidas por ambas as técnicas de microscopia, mostra que o material obtido pelo processamento de talos de casca de banana é constituído

de fibras vegetais, que são constituídas por feixes de microfibrilas, nas quais é possível visualizar-se a presença de poros, elemento de extrema importância para a proposta do presente trabalho que busca produtos isolantes. Também é possível observar o formato arredondado da seção da fibra e seu elevado comprimento em relação ao diâmetro.

Quanto a **razão aspecto** das fibras vegetais, a tab. 4 apresenta os valores de diâmetro médio, área média de seção, comprimento das fibras utilizados para a sua determinação.

Tabela 4- Valores médios usados para o cálculo da razão aspecto das fibras vegetais.

| | |
|-------------------------------|--------|
| Área média (mm ²) | 0,0298 |
| Diâmetro médio (mm) | 0,190 |
| Comprimento (mm) | 10 |

Baseado nos valores obtidos a razão aspecto das fibras vegetais utilizadas é igual a 52,6713, o que a classifica como uma fibra curta.

5.2 Caracterização dos compósitos de cimento e fibras vegetais

As figuras 37, 38 e 39 apresentam o **desempenho mecânico** das três formulações de massa propostas e a figura 40 a análise comparativa entre elas.

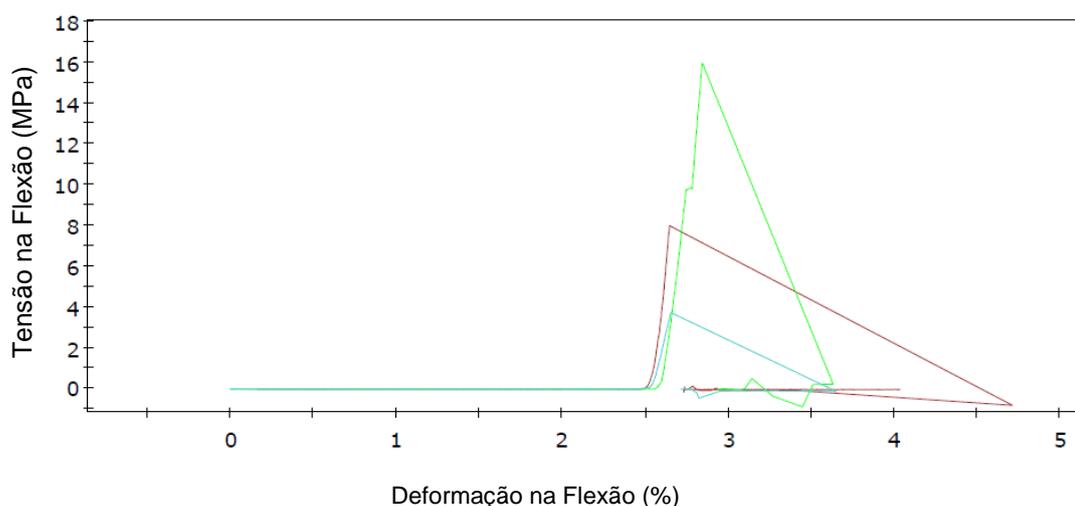


Figura 37– Ensaio de flexão a três pontos da massa com 0% de adição de fibras vegetais.

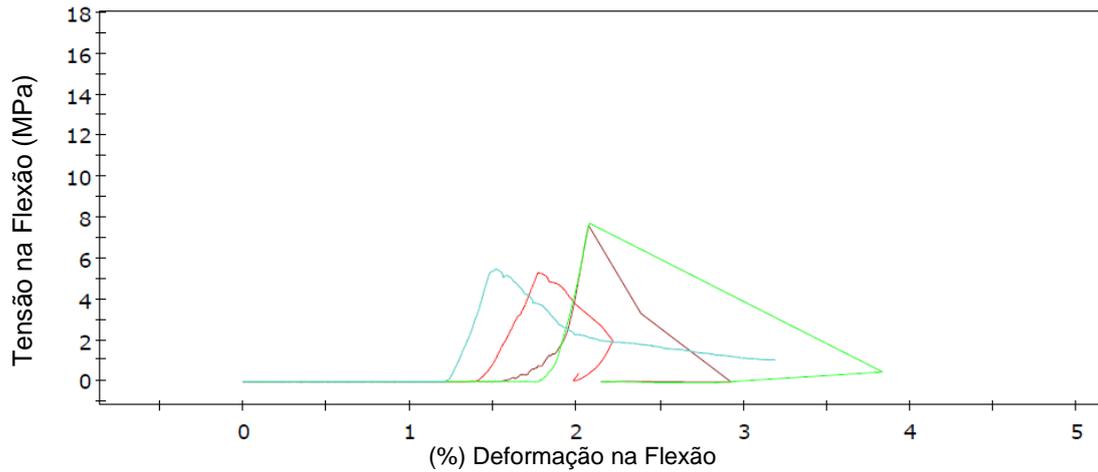


Figura 38 - Ensaio de flexão a três pontos da formulação de massa com 5% de adição de fibras vegetais.

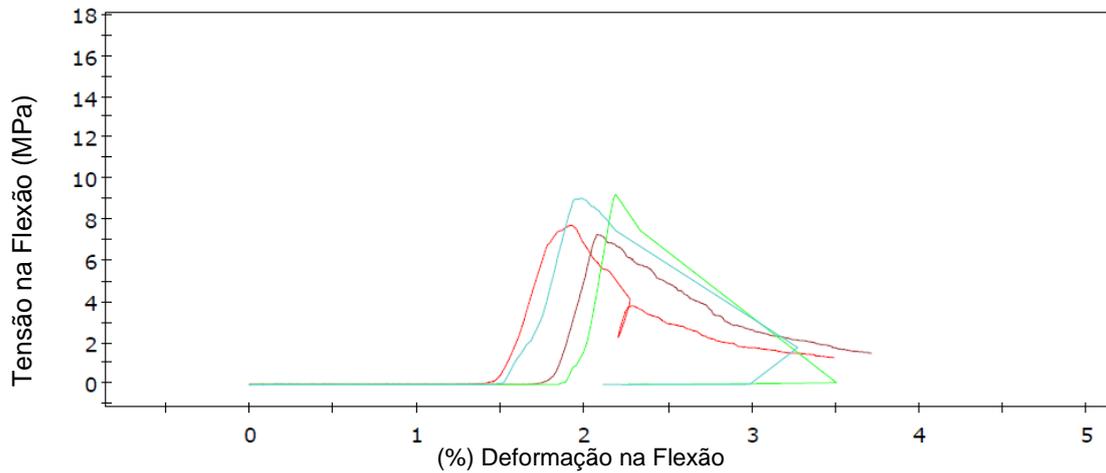


Figura 39 - Ensaio de flexão a três pontos da formulação de massa com 10% de adição de fibras vegetais.

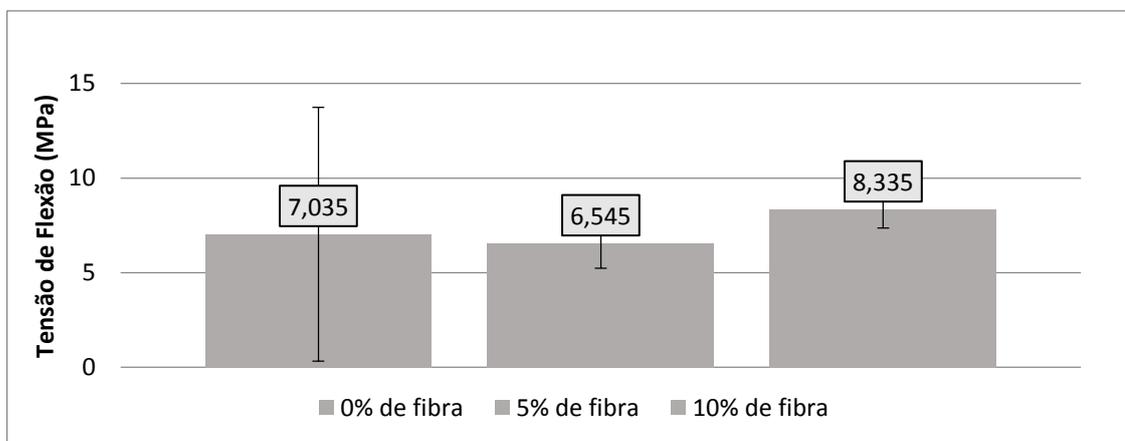


Figura 40 – Análise comparativa das tensões de flexão a três pontos das três formulações.

Os resultados obtidos mostram que os corpos de prova da massa sem adição de fibras apresentaram um grande intervalo entre as tensões obtidas (0,48 MPa a 15,95 MPa) e que os corpos de prova das formulações de massa aditivadas com fibras vegetais apresentaram comportamento similar, com uma menor variação das tensões, sendo estas de 5,33 MPa a 7,73 MPa para a aditivada com 5% e 7,28 MPa a 9,24 MPa para a aditivada com 10%. Vale ressaltar que o material proposto não tem função estrutural, não sendo necessário resistir a elevadas cargas, devendo apenas ter resistência para suportar o próprio peso.

Também, é possível observar-se que para a massa sem adição de fibras (figura 37) a ruptura do corpo de prova é repentina, após uma pequena deformação, situação característico de materiais cerâmicos puros flexionados. Tal fato difere nas formulações de massa aditivadas com fibras (figura 38 e 39) onde observa-se a redução gradual na tensão e não a ruptura repentina. Esta situação, provavelmente, é resultante da capacidade da fase dispersa formada pelas fibras vegetais de distribuir a tensão pela matriz, evitando que se propague rapidamente trincas e que ocorra a ruptura súbita do corpo de prova.

Quanto ao **teor de absorção de água** das formulações de massa propostas, como pode-se ver na figura 41, este é tanto maior quanto maior for a quantidade de fibra adicionada.

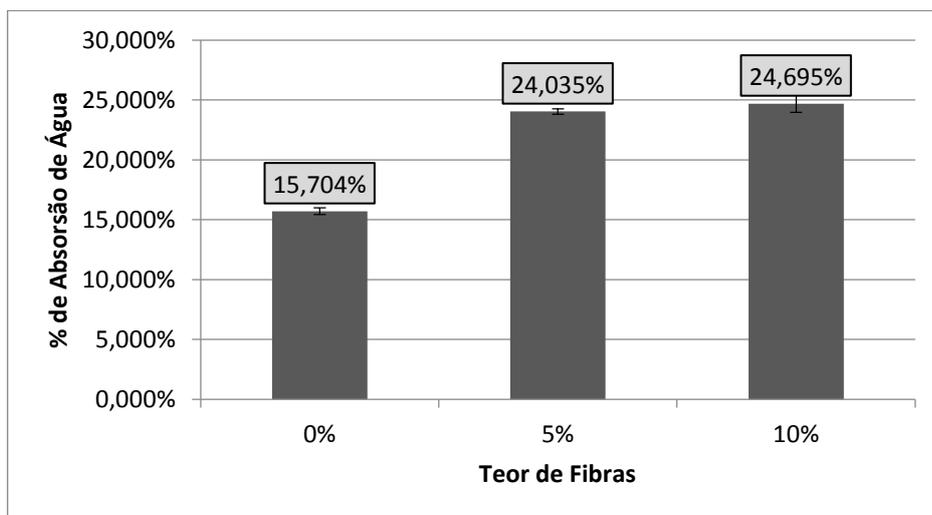


Figura 41 – Teor de absorção de água das três formulações propostas.

Estes resultados se justificam pelo caráter hidrofílico da fibra vegetal. Eles indicam que para a aplicação dessas fibras vegetais em placas isolantes estas deverão ser protegidas superficialmente ou da intempérie, tendo em vista que a umidade poderá prejudicar o isolamento térmico do material e, também acelerar a sua degradação.

As figura 42, 43 e 44 apresentam a **análise do desempenho térmico** das placas confeccionadas com as três formulações, considerando a temperatura em $75^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, aplicada no tempo de 60 minutos, e a figura 45 apresenta o gráfico do percentual de calor não transmitido pelas placas ensaiadas, calculado a partir da diferença entre a temperatura média da fonte quente e a temperatura medida na fonte fria no minuto correspondente.

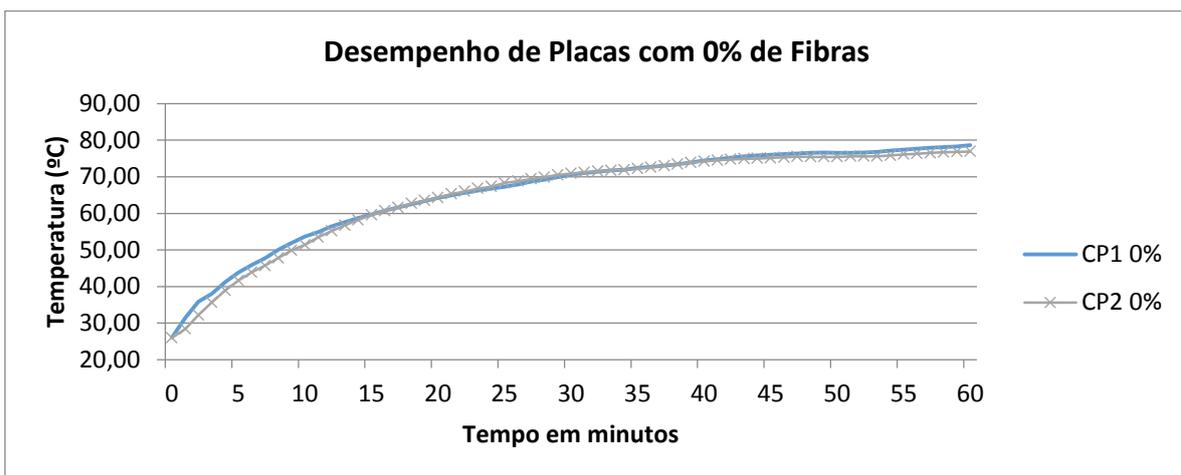


Figura 42 - Desempenho Térmico de placas com 0% de fibras

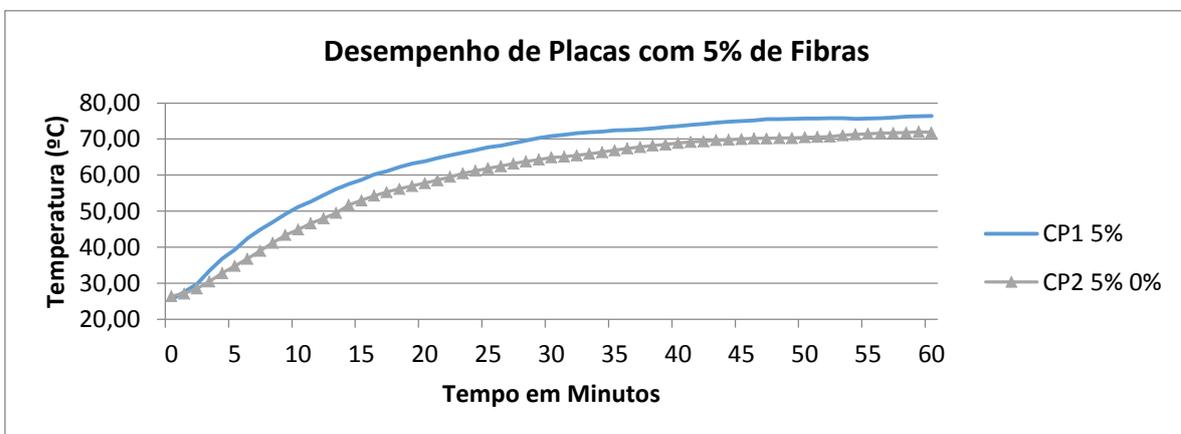


Figura 43 - Desempenho Térmico de placas com 5% de fibras

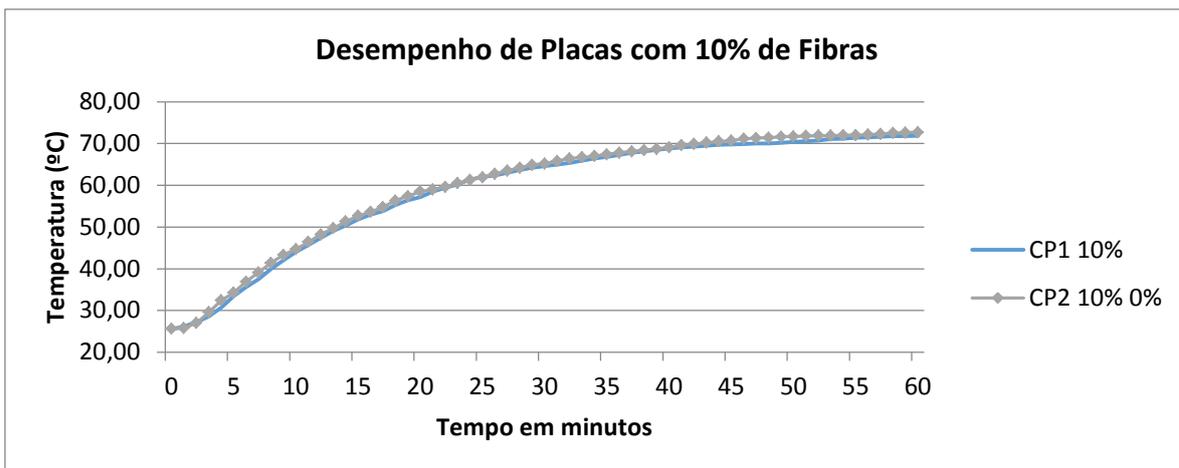


Figura 44 - Desempenho Térmico de placas com 10% de fibras

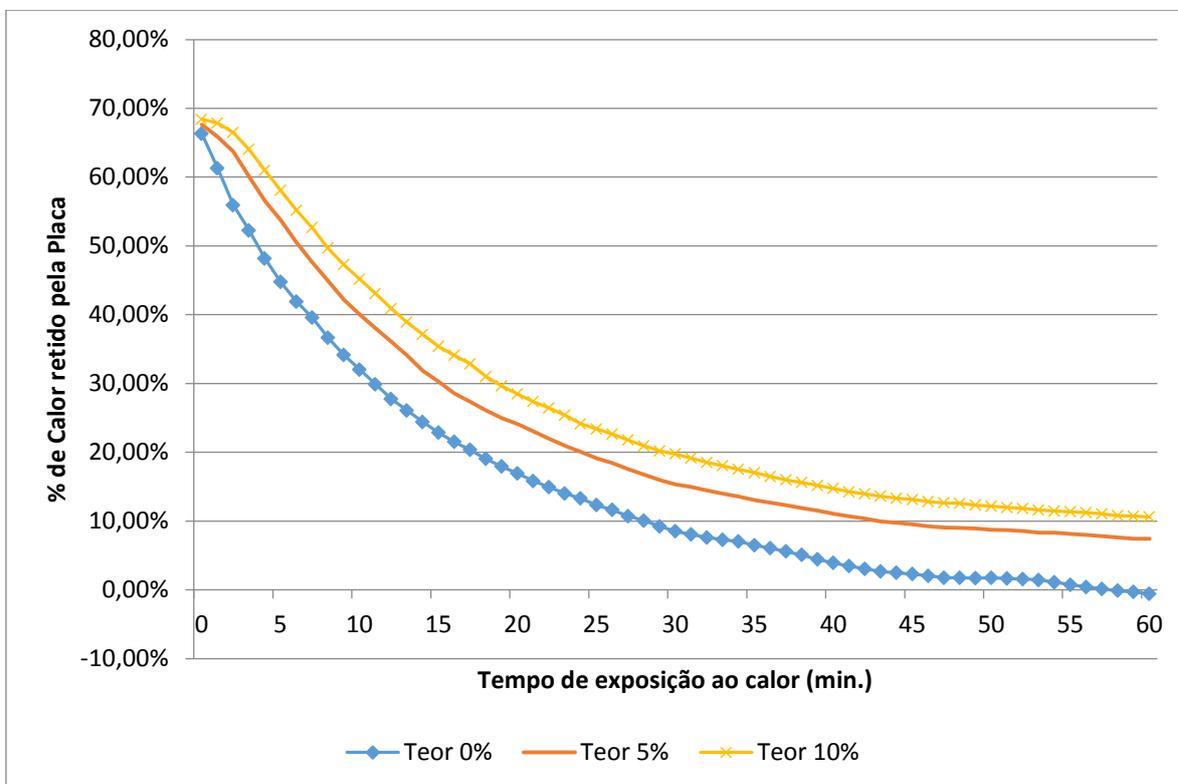


Figura 45 – Gráfico do percentual de calor retido pelas placas com diferentes teores de fibra.

Baseado no gráfico do percentual de calor não transmitido foi possível observar que a placa com maior índice de fibras (10%) teve um melhor desempenho térmico quando comparada com a placa sem adição de fibras, apresentando uma maior absorção e menor transmissão térmica. O resultado obtido é similar ao obtido por Beltran (2014), com placas de cimento branco não estrutural, onde o teor mais elevado de fibras teve um melhor desempenho.

6. Conclusões

A partir dos resultados obtidos é possível concluir-se que:

- A caracterização química feita demonstra que a metodologia utilizada é eficaz para a obtenção de fibras vegetais de talos de casca de banana;
- As fibras vegetais obtidas possuem uma razão aspecto intermediária, indicando sua classificação como fibras curtas;
- A adição de fibras a matriz cimentícia conferiu ao compósito um comportamento mecânico menos frágil, reduzindo a propensão de rupturas repentinas por conta da fragilidade do material;
- A adição de 10% de fibras resultou em um melhor desempenho mecânico em relação aos corpos de prova com 5%;
- Tendo em vista se tratar de um material sem função estrutural o desempenho mecânico foi considerado satisfatório;
- O teor de fibras eleva a absorção de umidade do material, principalmente por conta das hidrofilicidade do material de reforço, ;
- A análise do desempenho térmico mostrou que quanto maior é o teor de fibras maior é o aumento da capacidade de retenção de calor e de diminuiu da transmissão deste.

7. Referências Bibliográficas

A LAVOURA; **COCO: QUAL DESTINO DAR A CASCA?**; Revista A Lavoura, Nº 690 p. 26 a 30, 2012

ABCP; **BOLETIM TÉCNICO – GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO DO CIMENTO PORTLAND**; Associação Brasileira do Cimento Portland; São Paulo/SP, Dezembro de 2002

ABNT; **NBR 10520 - INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO – CITAÇÕES EM DOCUMENTOS – APRESENTAÇÃO; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**; Rio de Janeiro/RJ, Agosto de 2002.

ABNT; **NBR 14724 - INFORMAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO — TRABALHOS ACADÊMICOS — APRESENTAÇÃO**; Rio de Janeiro/RJ, Abril de 2011.

ABNT; **NBR 15220 – DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES**; Rio de Janeiro/RJ, Setembro de 2003

AECWEB; **CALHAS DE POLIURETANO – ISOLAMENTO DE TUBULAÇÕES**; Disponível em <http://www.aecweb.com.br/prod/e/calhas-de-poliuretano-pu_18884_26154> Acesso em 04 de Dezembro de 2014.

ÁGUA – UM OLHAR INTEGRADO; **AUTOMAÇÃO LIVRE PARA LABORATÓRIOS DE ÁGUAS**; Disponível em <<http://www.c2o.pro.br/automacao/x3369.html>> Acesso em 15 de Novembro de 2014

ASTM; C 177 - **STANDARD TEST METHOD FOR STEADY-STATE HEAT FLUX MEASUREMENTS AND THERMAL TRANSMISSION PROPERTIES BY MEANS OF THE GUARDED-HOT-PLATE APPARATUS**; ASTM International; West Conshohocken/PA United S.tates, 1997.

ASTM; C 168 - **STANDARD TERMINOLOGY RELATING TO THERMAL INSULATION**; ASTM International; West Conshohocken/PA United States, 2003.

BASTOS, V. D.; **BIOPOLÍMEROS E POLÍMEROS DE MATÉRIAS PRIMAS RENOVÁVEIS ALTERNATIVOS AOS PETROQUÍMICOS**; Revista do BNDES, Rio de Janeiro, V 14, N 28, P. 201-234, Dezembro de 2007.

BELTRAN, J. E. R.; **ANÁLISE DO USO DE FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS OBTIDAS DE TALOS DE CASCAS DE BANANAS NA PRODUÇÃO DE PLACAS TERMO ISOLANTES**; Universidade Federal de Pelotas – Programa d Pós-graduação em Ciencia e Engenharia de Materiais; Pelotas/RS, Março de 2014;

BELTRAN, J. E. R.; **DESENVOLVIMENTO DE PLACAS TERMO ISOLANTES A PARTIR DE FIBRAS VEGETAIS ORIUNDAS DO TALO E CASCAS DE BANANAS DO GÊNERO "MUSA CAVENDISHII"**; Encontro de Pós-Graduação da Universidade Federal de Pelotas; Pelotas/RS, Outubro de 2012 - Disponível em <http://www2.ufpel.edu.br/enpos/2012/anais/pdf/EN/EN_00528.pdf> Acesso em 10 de Novembro de 2014.

BRASI FOAM; **ESPUMAS DE POLIURETANO**; Disponível em <<http://spumacarautomotive.com/mercado.htm>> Acesso em 04 de Dezembro de 2014.

CALLISTER, W. D.; **CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS – UMA INTRODUÇÃO**; 8ª Edição; Editora LTC; 2012.

CASTRO, A. C.; **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DE MATERIAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE COBERTURA EM INSTALAÇÕES AVÍCOLAS**; Universidade de São Paulo – Escola Superior de agricultura “Luiz Queiroz”; Piracicaba/SP; 2012.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F.; **MATERIAIS, TÉCNICAS E PROCESSOS PARA ISOLAMENTO ACÚSTICO**; 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais; Foz do Iguaçu/PR, Novembro de 2006; Disponível em < <http://www.ceap.br/material/MAT12032009181855.pdf>> Acesso em 19 de Novembro de 2014.

CAMPOS, R. V. M.; SOARES, P. F.; NETO, G. A.; GROFF, A. M.; SOUZA, R. C.; **O ESTADO DA ARTE: APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS PARA DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS**; IV Encontro de Engenharia de Produção Agroindustrial; Campo Mourão/PR, 17 a 19 de Novembro de 2010.

CELPORM – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS; **LÃ DE ROCHA/LÃ DE VIDRO/ISOPOR**; Disponível em < <http://www.celprom.com.br/produtos/la-de-rocha-la-de-vidro-isopor/> > Acesso em 17 de novembro de 2014

CGEE; **MATERIAIS AVANÇADOS 2010-2022**; Centro de Gestão e Estudos Estratégicos; Brasília/DF, 2010.

CONSTRUINDO – TUDO PARA SUA CONSTRUÇÃO E REFORMA; **LÃ DE VIDRO – ISOLANTE TÉRMICO LEVE PARA PROJETOS**; Disponível em <<http://construindo.org/la-de-vidro/>> Acesso em 17 de novembro de 2014.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C.; **COMPOSIÇÃO QUÍMICA, PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DA FIBRA DE FRUTOS DE CULTIVARES DE COCO VERDE**; Revista Brasileira de Fruticultura nº 3, p. 837-846, Jaboticabal/SP, Setembro de 2009

CORREIA, C. M. P.; **CONFORTO TÉRMO-ACÚSTICO EM UMA HABITAÇÃO DE BAIXO CUSTO**; Universidade de São Paulo – Instituto de Química de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos; São Carlos/SP Março de 2009.

COUTINHO, J. S.; **CIÊNCIA DOS MATERIAIS 1º PARTE**; Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia; Cap. 5 Cimentos, p. 44 a 104; Porto/Pt, Dezembro de 2002; Disponível em < <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano1/CienciaDosMateriais/index.htm>> Acesso em 01 de Dezembro de 2014.

CRUZ, M. P.; **APLICAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO: UMA PROPOSTA PARA A UTILIZAÇÃO DE POLIURETANO DE MAMONA COM AGREGADO DE RESÍDUO PLÁSTICO TERMOFÍXO**; Universidade federal do Rio Grande do Norte – Centro de Tecnologia; Natal/RN, Julho de 2009.

EQUIPE DE OBRA; **TRATAMENTO ACÚSTICO**; Disponível em <<http://equipedebobra.pini.com.br/construcao-reforma/43/tratamento-acustico-conheca-os-principais-materiais-utilizados-em-forros-243498-1.aspx>> Acesso em 17 de Novembro de 2014.

FLICKR; **POLIESTIRENO EXTRUDADO**; Disponível em <<https://www.flickr.com/photos/tags/alsom/>> Acesso em 04 de Dezembro de 2014.

FORD MOTORS; **YOU SAY TOMATO; WE SAY TOM-AUTO: FORD AND HEINZ COLLABORATE ON SUSTAINABLE MATERIALS FOR VEHICLES**; The Ford Motor Company Mediacenter; Dearborn/Michigan, Junho de 2014; Disponível em <<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2014/06/10/ford-and-heinz-collaborate-on-sustainable-materials-for-vehicles.html>>, acesso em 02 de Dezembro de 2014.

FIORENTINO, G., BROSSI, L., AMELONG, I., CAMPANATTI, C.; **AS OITO GRANDES TENDÊNCIAS DE CRESCIMENTO ATÉ 2020**; Bain & Company, 2012.

GANHÃO, A. M. G. D.; **CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL – PROPOSTAS DE MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO**; Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia; Portugal, Dezembro de 2011.

IMAI, E. M.; NII, P. M.; **FIBRAS NATURAIS E SUA APLICAÇÃO NA ARQUITETURA**; Universidade de São Paulo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo; 2009; Disponível em <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos_Finais_2009/Fibras_Naturais.pdf> Acesso em 25 de novembro de 2014.

ISAR – ISOLAMENTOS TERMO ACÚSTICOS; **ISOLAMENTO TÉRMICO – LÃ DE VIDRO**; Disponível em <<http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/la-de-vidro/>> Acesso em 17 de Novembro de 2014.

ISOLANI, P. **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS**, Lisboa: Intelligent Energy Europe, 2011.

JONOBRA; **POLIESTIRENO EXPANDIDO**; Disponível em <<http://www.jonobras.pt/isolamentos-e-impermeabilizacoes/4438-poliestireno-expandido-eps.html>> Acesso em 04 de Dezembro de 2014.

KLEIN, A. N.; FREDEL, M. C.; WENDHAUSEN, P. A. P.; **NOVOS MATERIAIS: REALIDADE E TENDÊNCIAS DE DESENVOLVIMENTO**; UFSC – Engenharia de Materiais; 2010; Disponível em <<https://ufscmateriais.files.wordpress.com/2010/06/novos-materiais-realidade-e-tendencias-de-desenvolvimento.pdf>> Acesso em 16 de Novembro de 2014

MENDES, P. S. M.; **ISOLAMENTOS TÉRMICOS EM EDIFÍCIOS E SEU CONTRIBUTO PARA A EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**; Universidade Fernando Pessoa; Porto/Portugal, 2012

PADILHA, A. F.; **MATERIAIS DE ENGENHARIA – MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES**; HEMUS Livraria, Distribuidora e Editora S/A; Curitiba/PR.

PANIZ, O. G.; BELTRAN, J. E. R.; GONÇALVES, M. R. F.; **PLACAS TERMOISOLANTES DE CIMENTO BRANCO NÃO ESTRUTURAL ADITIVADAS**

COM FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS DE TALOS DE CASCA DE BANANA; Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas; Pelotas/RS, Setembro de 2014 - Disponível em < http://cti.ufpel.edu.br/cic/arquivos/2014/EN_01897.pdf> Acesso em 10 de Novembro de 2014.

PANIZ, O. G.; BELTRAN, J. E. R.; **OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DE TALOS DE CASCAS DE BANANA;** Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Pelotas; Pelotas/RS, Novembro de 2013 Disponível em <> Acesso em 10 de Novembro de 2014 - Disponível em < http://cti.ufpel.edu.br/cic/arquivos/2013/EN_01848.pdf> Acesso em 10 de Novembro de 2014

PEREIRA, C. L.; **APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO COCO VERDE PARA A PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS DESTINADOS A CONSTRUÇÃO RURAL;** Universidade de São Paulo – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos; Pirassununga/SP, 2012.

POLIQUEZI, A.; **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA;** CREA-PR; Curitiba/PR. 2012

REFRATIL; **VERMICULITA EXPANDIDA;** Disponível em <<http://www.refratil.com.br/produto/vermiculita-expandida>> Acesso em 17 de novembro de 2014.

SANTIAGO, R. C.; BRAGA, R. M.; FELIPE, R. C. T. S.; FELIPE, R. N. B.; **COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITO DE RESINA ORTOFTÁLICA REFORÇADO COM FIBRA DE JUTA E TRATADO QUIMICAMENTE COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO;** Tecnologia e Desenvolvimento Sustentável – Revista Científica dos IF's do Norte e Nordeste; p. 44 a 55, 2007. Disponível em <<http://www.redenet.edu.br/ojs/index.php/tecnologia/article/view/33/29>> Acesso em 27 de Novembro de 2014.

SANTOS, M. F. R. F.; **ELABORAÇÃO DO TECHNOLOGY ROADMAP PARA BIORREFINARIA DE PRODUTOS DA LIGNINA NO BRASIL;** Universidade Federal do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro/RJ Outubro de 2011

SATYANARAYANA, K. G; GUIMARÃES, J.L; WYPYCH, F.; **STUDIES ON LIGNOCELLULOSIC FIBERS OF BRAZIL. PART I: SOURCE, PRODUCTION, MORPHOLOGY, PROPERTIES AND APPLICATIONS;** Elsevier - Composites Part A: Applied science and manufacturing; Fevereiro de 2007.

SILVA, F. A.; **TENACIDADE DE MATERIAIS COMPOSITOS NÃO CONVENCIONAIS;** Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; Rio de Janeiro/RJ, Junho de 2004.

SILVA, G. O.; JERÔNIMO, C. E.; **ESTUDO DE ALTERNATIVAS PARA O TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO DO COCO;** Monografias Ambientais – REMOA/UFSM; v 10, n. 10, p. 2193 a 2208, Outubro de 2012, Disponível em <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/remoa/article/view/6935>> Acesso em 27 de Novembro de 2014.

SILVA, P. C. P.; **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE CONSTRUÇÕES NÃO CONVENCIONAIS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO EM VISUALDOE;** Universidade do Minho – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil; Portugal, Janeiro de 2006.

SITIO DAS LAREIRAS; **ARTIGOS DE ISOLAMENTO**; Disponível em <http://www.sitiodaslareiras.com/artigos_isolamento.htm> Acesso em 17 de Novembro de 2014.

WIDMER-HOLZBAUAG; **ISOFLC**; Disponível em <<http://www.widmer-holzbauag.ch/isofloc.html>> Acesso em 17 de Novembro de 2014.

WIECHETECK, M.; **APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS E SUBPRODUTOS FLORESTAIS, ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E PROPOSTAS DE POLÍTICAS AO USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS PARA FINS ENERGÉTICOS**; MMA – Secretaria de mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental – Secretaria de biodiversidades e Florestas – Projeto PNDU BRA 00/20: Apoio as Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental; Curitiba/PR, 2009.

Apêndices

Ensaio de Absorção de Água

| teor de fibra | Amostra | Peso seco | Peso Úmido 24 horas | % de Umidade |
|---------------|---------|-----------|------------------------|-----------------|
| 0% | 1 | 25,497 | 30,267 | 15,760% |
| | 2 | 32,086 | 37,975 | 15,508% |
| | 3 | 24,161 | 28,509 | 15,251% |
| | 4 | 25,415 | 30,174 | 15,772% |
| | 5 | 24,407 | 29,145 | 16,257% |
| | 6 | 30,909 | 36,645 | 15,653% |
| | 7 | 32,724 | 38,817 | 15,697% |
| | 8 | 28,859 | 34,247 | 15,733% |
| 5% | 1 | 18,384 | 24,236 | 24,146% |
| | 2 | 22,442 | 29,626 | 24,249% |
| | 3 | 44,623 | 58,682 | 23,958% |
| | 4 | 42,507 | 56,048 | 24,160% |
| | 5 | 41,029 | 53,746 | 23,661% |
| 10% | 1 | 38,653 | 50,731 | 23,808% |
| | 2 | 37,225 | 49,788 | 25,233% |
| | 3 | 38,795 | 51,971 | 25,353% |
| | 4 | 42,318 | 55,965 | 24,385% |

| Teor de Fibras | Média | Desvio Padrão |
|-------------------|---------|------------------|
| 0% | 15,704% | 0% |
| 5% | 24,035% | 0% |
| 10% | 24,695% | 1% |

Ensaio de Flexão a três pontos

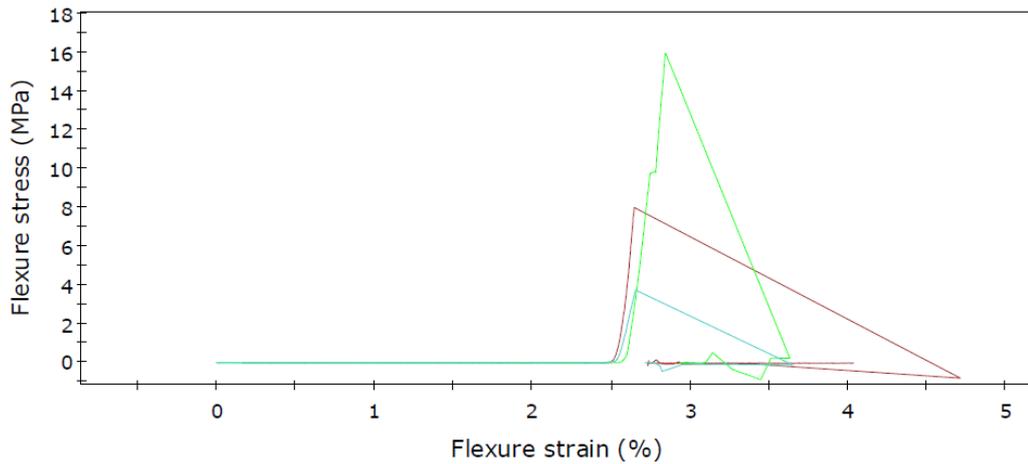
This is an EXAMPLE 3 Point FLEXURE (BEND) test method. This is a PROMPTED TEST where you are "prompted" step-by-step.

This example method is "Read-Only".

| | |
|--------------------------------|-----------------|
| General: Number of specimens | 25 |
| Number Inputs: Humidity (%) | 50.00 |
| Number Inputs: Temperature (C) | 18.00 |
| Text Inputs: Company | |
| Text Inputs: Laboratory Name | UFPel Materiais |
| Text Inputs: Operator ID | Dennis |

ABC Compagnie
11 Parc Club Ariane
Guyancourt, Cedex France

CPs 0% de fibras Flex Test



CPs 5% de fibras Flex Test

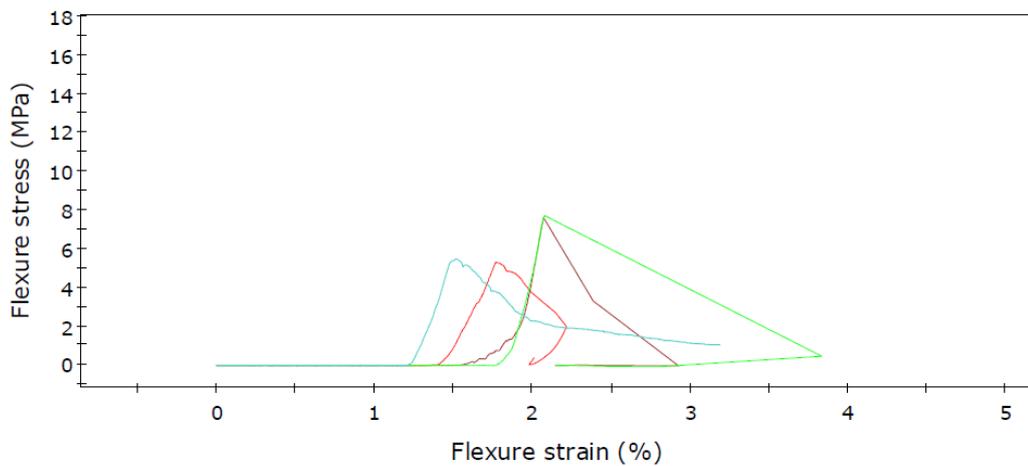
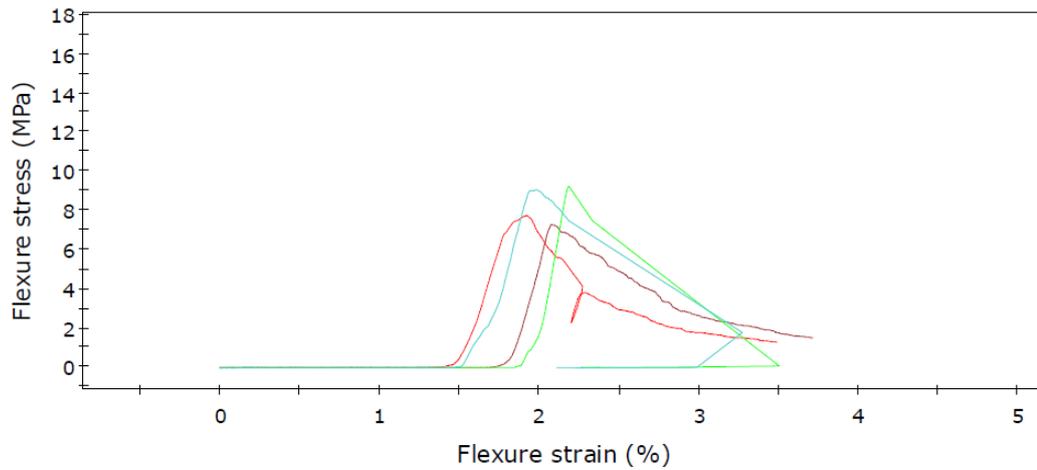


Figura 46 - Relatório Máquina de ensaio universal

CPs 10% de fibras
Flex Test



| | Specimen label | Maximum Load (N) | Maximum Stress (MPa) | Flex Modulus (MPa) |
|--------------------|---------------------------------|------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Cimento 0% de Fibra 1 | 11.73 | 0.43 | 12.63 |
| 2 | Cimento 0% fibra amostra 2 | 229.61 | 8.00 | 9363.87 |
| 3 | Amostra cimento 0% amostra 3 | 467.96 | 15.95 | 9655.49 |
| 4 | Cimento 0% de fibras amostra 4 | 117.16 | 3.76 | 3514.23 |
| 5 | Cimento 5% de fibras amostra 1 | 196.02 | 5.33 | 2025.09 |
| 6 | Cimento 5% fibra amostra 2 | 240.59 | 7.61 | 4451.80 |
| 7 | Cimento 5% de fibras amostra 3 | 245.42 | 7.73 | 4197.21 |
| 8 | Cimento 5% de fibras amostra 4 | 180.74 | 5.51 | 2776.38 |
| 9 | Cimento 10% de fibra amostra 1 | 198.57 | 7.75 | 2712.66 |
| 10 | Cimento 10% de fibra amostra 2 | 220.04 | 7.28 | 3107.66 |
| 11 | Cimento 10% de fibra amostra 3 | 322.08 | 9.24 | 4642.93 |
| 12 | Cimento 10% de fibras amostra 4 | 343.30 | 9.07 | 3157.58 |
| Mean | | 231.10 | 7.31 | 4134.79 |
| Standard Deviation | | 114.14312 | 3.68621 | 2794.30891 |
| Minimum | | 11.73 | 0.43 | 12.63 |
| Maximum | | 467.96 | 15.95 | 9655.49 |

| | Comment |
|--------------------|---------|
| 1 | |
| 2 | |
| 3 | |
| 4 | |
| 5 | |
| 6 | |
| 7 | |
| 8 | |
| 9 | |
| 10 | |
| 11 | |
| 12 | |
| Mean | |
| Standard Deviation | |
| Minimum | |

Figura 47 - Relatório da Máquina de ensaio universal;

Análise de Diâmetro e Área de seção Média

| imagem | área (mm ²) | Diâmetro Estimado (mm) | imagem | área (mm ²) | Diâmetro Estimado (mm) |
|--------|-------------------------|------------------------|--------|-------------------------|------------------------|
| 000 | 0,0300 | 0,195 | 024 | 0,0330 | 0,205 |
| 001 | 0,0120 | 0,124 | 025a | 0,0150 | 0,138 |
| 002 | 0,0300 | 0,195 | 025 | 0,0090 | 0,107 |
| 003 | 0,0320 | 0,202 | 026 | 0,0340 | 0,208 |
| 004 | 0,0300 | 0,195 | 027 | 0,0200 | 0,160 |
| 005 | 0,0340 | 0,208 | 028 | 0,0170 | 0,147 |
| 006 | 0,0260 | 0,182 | 029 | 0,0120 | 0,124 |
| 007 | 0,0290 | 0,192 | 030 | 0,0560 | 0,267 |
| 008 | 0,0400 | 0,226 | 031 | 0,0320 | 0,202 |
| 009 | 0,0290 | 0,192 | 032 | 0,0390 | 0,223 |
| 010 | 0,0320 | 0,202 | 033 | 0,0130 | 0,129 |
| 011 | 0,0090 | 0,107 | 034 | 0,0360 | 0,214 |
| 012 a | 0,0090 | 0,107 | 035 | 0,0350 | 0,211 |
| 012 b | 0,0150 | 0,138 | 036 | 0,0440 | 0,237 |
| 013 | 0,0400 | 0,226 | 037 | 0,0290 | 0,192 |
| 014 | 0,0570 | 0,269 | 038 | 0,0390 | 0,223 |
| 015 | 0,0410 | 0,228 | 039 | 0,0200 | 0,160 |
| 016 | 0,0300 | 0,195 | 040 | 0,0230 | 0,171 |
| 017 | 0,0200 | 0,160 | 041 | 0,0510 | 0,255 |
| 018 a | 0,0120 | 0,124 | 042 | 0,0420 | 0,231 |
| 018 b | 0,0240 | 0,175 | 043 | 0,0400 | 0,226 |
| 019 | 0,0330 | 0,205 | 044 | 0,0200 | 0,160 |
| 020 | 0,0150 | 0,138 | 045 | 0,0210 | 0,164 |
| 021 | 0,0210 | 0,164 | 046 | 0,0480 | 0,247 |
| 022 | 0,0470 | 0,245 | 047 | 0,0390 | 0,223 |
| 023 | 0,0560 | 0,267 | | | |

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Área média (mm ²) | 0,0298 |
| Diâmetro médio (mm) | 0,190 |
| Comprimento dos feixes (mm) | 10 |
| Razão Aspecto | 52,67130014 |