

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

TESE DE DOUTORADO

**ESTUDO SOBRE AS POTENCIALIDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE
GESSO E FIBRAS DE COCO SECO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

PAULO WALDEMIRO SOARES CUNHA

Orientadores: Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes

Prof. Dr. RasiahLadchumananandasivam

Tese nº 112/PPGCEM

Natal

2012

PAULO WALDEMIRO SOARES CUNHA

**ESTUDO SOBRE AS POTENCIALIDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE
GESSO E FIBRAS DE COCO SECO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO
CIVIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Ciências Exatas e da Terra, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de Concentração: Processamento de materiais.

Orientadores: Prof. Dr. Uilame Umbelino Gomes

Prof. Dr. RasiahLadchumananandasivam

Natal
2012

A minha família, esposa, filhos e netos, pelas horas subtraídas ao convívio familiar e pela compreensão e estímulo nos momentos de angústia e impaciência.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Uilame Umbelino Gomes (UFRN), meu orientador acadêmico, pelo estímulo, crédito e toda contribuição direta e indireta para esse trabalho.

Ao Prof. Rasiah Ladchumananandasivam (UFRN), meu co-orientador acadêmico, pelo acompanhamento, ensinamento, atenção e apoio

.

Ao Professor George Santos Marinho (UFRN), pelo ensinamento, atenção e apoio.

Ao Dr. Paulo Massarani (INMETRO), pela grande atenção, consideração e apoio.

Aos Professores Edna Maria da Silva, Pró-Reitora de Pós-Graduação, José Daniel Diniz, Diretor do Centro de Tecnologia, Rubens Maribondo do Nascimento (UFRN), Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, pelo apoio emprestado à consecução dessa jornada.

Aos Professores Bianca Carla Dantas de Araújo (UFRN), Djalma Ribeiro da Silva (UFRN), Fernando Antônio Pessoa Lira Lins (UFRN), Jaquelígia Brito da Silva (UFRN), José Antônio Martins Neto (IFRN), Marcos Lacerda Almeida (UFRN), Mario Pereira da Silva (UFRN) e Moisés Vieira de Melo (UFRN), pela consideração e inestimável apoio.

A empresa AQUACOCO – DD GASPAR ME, na pessoa do seu diretor Diogo Gaspar, pelo apoio emprestado a esse trabalho.

A Taciano Arruda Câmara de Medeiros, empresa Tecarte, pela atenção e inestimável apoio.

A empresa DIGESSO LTDA, na pessoa do seu Diretor Denílton José Honorato da Silva, pela consideração e inestimável apoio.

A Francisco Domício de Almeida Filho, empresário do setor gesso, pela atenção e apoio.

Ao Eng^o Helianto dos Santos Lucena, pelas valiosas contribuições técnicas.

Ao bolsista Vítor Dantas de Azevedo, pela valiosa colaboração.

A secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais, na pessoa de Ismael Torquato Queiroz e Silva, pela solicitude e atenção.

Aos técnicos e bolsistas dos laboratórios da UFRN, pela cooperação e companheirismo demonstrados, que nominalmente citamos por merecimento: Anderson Tertuliano da Silva Cunha (UFRN), Artejose Revoredo (UFRN), Diego Tavares de França (UFRN), Francisco de Assis Braz (UFRN), Hudson Rafael Pereira Diniz (UFRN), Mozer de Menezes IFRN), Samara Melo Valcaver (UFRN) e Sandro Ricardo da Silva Andrade (UFRN).

A todos os que colaboraram, direta ou indiretamente, para a conclusão dessa jornada, por esquecimento não nominados, o agradecimento sincero pela contribuição.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABELAS	16
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	17
Capítulo 1	19
Introdução.....	19
Capítulo 2	24
Revisão Bibliográfica	24
2.1 Gesso.....	24
2.1.1 Gipsita	24
2.1.1.1 Reservas.....	26
2.1.1.2 Consumo.....	29
2.1.2 O material gesso.....	30
2.1.2.1 Propriedades químicas, físicas e mecânicas do gesso.....	31
2.1.2.2 Análise microestrutural.....	34
2.1.2.3 O Uso do gesso na construção civil	35
2.1.2.3.1 Revestimento interno de paredes e tetos	37
2.1.2.3.2 Vedações internas ou divisórias em blocos e painéis	38
2.1.2.3.2.1 Vedações internas ou divisórias em blocos	38
2.1.2.3.2.2 Vedações internas ou divisórias em painéis	39
2.1.2.3.2 Forros	40
2.1.2.2.3 A geração de resíduos.....	41
2.2 Fibras	42
2.2.1 Fibras vegetais	43
2.2.1.1 Características das fibras vegetais	45
2.2.1.1.1 Macroestrutura das fibras vegetais.....	45

2.2.1.1.2 Microestrutura das fibras vegetais	47
2.2.1.2 A Fibra do coco seco	55
2.2.1.2.1 A cultura do coqueiro	55
2.2.1.2.2 Características da fibra de coco seco	58
2.2.1.2.2.1 Características físicas	58
2.2.1.2.2.2 Propriedades mecânicas	59
2.2.1.2.2.3 Morfologia	59
2.2.1.2.3 Produção e uso da fibra de coco seco	60
2.3 Compósitos	61
2.3.1 Compósitos à base de gesso	62
2.3.2 Compósitos de matrizes cimentícias reforçados com fibras de coco	65
2.4 Propriedades térmicas	66
2.4.1 Condutividade térmica	66
2.4.2 Capacidade calorífica	67
2.4.3 Difusividade térmica	68
2.5 Propriedades acústicas	68
2.5.1 Absorção sonora	69
Capítulo 3	71
Materiais e Métodos	71
3.1 Matérias-primas	71
3.1.1 Materiais	71
3.1.2 Caracterização das matérias-primas	71
3.1.2.1 Gesso	71
3.1.2.1.1 Análise granulométrica	71
3.1.2.1.2 Análise mineralógica	71
3.1.2.2 Fibra de coco seco	72

3.1.2.2.1 Obtenção da fibra de coco seco	72
3.1.2.2.2 Tratamento da fibra de coco seco	73
3.1.2.2.3 Propriedades físicas da fibra de coco seco	75
3.1.2.2.3.1 Comprimento médio e título da fibra bruta	75
3.1.2.2.3.2 Espessura	75
3.1.2.2.3.3 Densidade	75
3.1.2.2.3.4 Regain %	76
3.1.2.2.3.5 Resistência à tração.....	77
3.2 Preparação das amostras	77
3.2.1 Preparação da manta de fibra de coco seco	77
3.2.2 Preparação do gesso.....	80
3.2.3 Preparação dos compósitos	80
3.2.4 Preparação de amostras para os ensaios	83
3.3 Caracterização dos compósitos	84
3.3.1 Caracterização física	84
3.3.1.1 Massa específica	84
3.3.1.2 Absorção	85
3.3.2 Caracterização mecânica	86
3.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos	86
3.3.2.2 Resistência à compressão	87
3.3.3 Caracterização térmica.....	88
3.3.3.1 Determinação das propriedades térmicas.....	88
3.3.3.2 Avaliação do desempenho térmico	90
3.3.4 Caracterização acústica	96
3.3.4.1. Determinação do coeficiente de absorção sonora	96
Capítulo 4	98
Resultados e Discussões.....	98

4.1 Caracterização do gesso.....	98
4.1.1 Análise granulométrica	98
4.1.2 Análise mineralógica.....	99
4.2 Caracterização da fibra de coco seco	99
4.2.1 Aspectos físicos.....	99
4.2.1.1 Comprimento médio e título da fibra	99
4.2.1.2 Espessura	100
4.2.1.3 Densidade	100
4.2.1.4 Regain %.....	100
4.2.1.5 Resistência à tração.....	100
4.3 Caracterização dos compósitos	101
4.3.1 Caracterização física	101
4.3.1.1 Massa específica	101
4.3.1.2 Absorção	102
4.3.2 Caracterização mecânica	103
4.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos	103
4.3.2.2 Resistência à compressão	103
4.3.2.2.1 Força perpendicular ao plano - FLATWISE	103
4.3.2.2.2 Força paralela ao plano - EDJEWISE	104
4.3.3 Caracterização térmica.....	105
4.3.3.1 Propriedades térmicas	105
4.3.3.2 Desempenho térmico	108
4.3.4 Caracterização acústica	109
4.3.4.1 Absorção sonora	109
Capítulo 5.....	111
Conclusões.....	111
Sugestões para Trabalhos Futuros	113

Referências 114

RESUMO

A utilização do gesso, um dos mais antigos materiais de construção, pela indústria da construção civil no País, vem experimentando um sensível e constante crescimento, em função do seu baixo custo e de algumas de suas propriedades que lhe conferem vantagem comparativa em relação a outros materiais ligantes. Sua utilização compreende diversas aplicações entre as quais o revestimento de paredes e a confecção de vedações internas e de forros. Por outro lado, as fibras vêm sendo, cada vez mais, incorporadas em matrizes frágeis, na tentativa de melhorar as propriedades do compósito, através da redução do número de fissuras, da abertura das mesmas e da sua velocidade de propagação. Dependendo da função do material ou do componente da construção, os desempenhos térmico e acústico, assumem grande importância no contexto das edificações e também poderiam ser melhorados com a incorporação de fibras. Dentre as fibras vegetais, a fibra de coco seco apresenta um grande potencial, superior às vantagens comparativas das demais fibras, tal como uma maior resistência frente à alcalinidade característica das matrizes cimentícias. Realizar um estudo comparativo das propriedades físico-mecânicas, térmicas e acústicas de compósitos à base de gesso com incorporação de fibra de coco seco, sob a forma de manta, constituiu-se no objetivo geral deste trabalho. Para tanto os materiais compósitos foram confeccionados em forma de placas, painéis sanduíches, com dimensões de 500x500x24mm, sendo as camadas externas constituídas pelo gesso e a central (recheio) pela manta de fibra de coco seco. Para avaliar a influência do teor de fibras nas propriedades dos compósitos foram utilizadas na confecção dos mesmos mantas com espessuras de 8 e 10 mm. Para possibilitar o estudo comparativo das propriedades foram também confeccionadas placas apenas com gesso. Foram então determinadas as propriedades físico-mecânicas, térmicas e acústicas do gesso e dos compósitos. Os resultados indicaram que para os compósitos ocorreram ganhos significativos em relação aos desempenhos térmico e também acústico, na faixa de frequência de 102,28 Hz a 1.150,00 Hz, ganhos esses crescentes com a espessura da manta. Em relação às demais propriedades físico-mecânicas, os resultados mostraram que embora a resistência à compressão tenha sido inferior para os compósitos, as fibras apenas evitaram um rompimento brusco, uma vez que as mesmas não atuam como reforço para esse tipo de solicitação. O mesmo comportamento ocorreu em relação à resistência à flexão, uma vez que os compósitos não sofreram ruptura brusca e ainda continuaram suportando carga depois do ponto de carga máxima.

Palavras chaves: gesso; fibra de coco seco; compósito; propriedades físico-mecânicas, propriedades termo-acústicas.

ABSTRACT

The use of gypsum, one of the oldest building materials for the construction industry in the country has been experiencing a significant and steady growth, due to its low cost and some of its properties that confer comparative advantage over other binder materials. Its use comprises various applications including the coating of walls and the production of internal seals and linings. Moreover, the fibers are being increasingly incorporated into arrays fragile in an attempt to improve the properties of the composite by reducing the number of cracks, the opening of the same and its propagation velocity. Other properties, depending on the function of the component material or construction, among these thermal and acoustic performances, are of great importance in the context of buildings and could be improved, that is, having better performance with this embodiment. Conduct a comparative study of physico-mechanical, thermal and acoustic composite gypsum incorporating dry coconut fiber, in the form of blanket, constituted the main objective of this work. Improving the thermal and acoustic performances of precast gypsum, used for lining and internal vertical fences of buildings, was the purpose of development of these composites. To evaluate the effect of fiber content on the properties of the composites were used to manufacture the composite layer with different thicknesses. The composites were fabricated in the form of plates with dimensions of 500x500x24mm. To facilitate the comparative study of the properties were also made with material gypsum boards only. We then determined the physico-mechanical, thermal and acoustical plaster and composites. The results indicated that the composites were significant gains in relation to thermal performance and also acoustic, in certain frequency range, increasing the thickness of the blanket. Concerning other physical-mechanical properties, the results showed that although the compressive strength was lower than for the composite did not occur after a fracture catastrophic failure. The same trend was observed with regard to resistance to bending, since the composites have not suffered sudden rupture and still continued after the load supporting point of maximum load.

keywords: gypsum, drycoconut fiber, composite, physico-mechanical, thermal and acoustic properties

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Cristais de gipsita.....	25
Figura 2 - Célula cristalina do mineral gipsita.....	25
Figura 3 - Reservas brasileiras de gipsita	27
Figura 4 - Destinação da produção do gesso.....	27
Figura 5 - Pólo Gesseiro do Araripe	28
Figura 6 - Produção mundial gipsita.....	29
Figura 7 - Consumo setorial de gipsita no Brasil – 2000	29
Figura 8 - Cristais de dihidrato, aumento 4000x.....	35
Figura 9 - Blocos de gesso; (a) Vazado; (b) Compacto.....	39
Figura 10 - Divisórias em drywall	40
Figura 11 - Forro em placas convencionais fixadas com arame	41
Figura 12 - Placas em gesso acartonado fixadas com perfis metálicos	41
Figura 13 - Resíduos do gesso na construção	42
Figura 14 - Fibra: Aglomerado de células	49
Figura 15 - Constituição elementar das fibras vegetais.....	50
Figura 16 - Superfície longitudinal da fibra de açaí	51
Figura 17 - Superfície longitudinal da fibra de coco	52
Figura 18 - Superfície longitudinal da fibra de juta	52
Figura 19 - Seção transversal da fibra de açaí.....	52
Figura 20 - Seção transversal da fibra de coco	53
Figura 21 - Seção transversal da fibra de juta.....	53
Figura 22 - Estrutura interna da fibra de açaí.....	54
Figura 23 - Estrutura interna da fibra de coco	54
Figura 24 - Estrutura interna da fibra de juta.....	55
Figura 25 - Camadas que formam o coco: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e a castanha.....	56
Figura 26 - Classificação dos compósitos segundo o material de reforço.....	62
Figura 27 – Desfibradora.....	72
Figura 28 - Fibra de coco seco sem tratamento	73
Figura 29 - Cardagem manual da Fibra de coco seco	73
Figura 30 - Fibra de molho em solução de hidróxido de sódio.....	74

Figura 31 - Aspecto das fibras após o tratamento.....	74
Figura 32 - Confeccionador de manta.....	77
Figura 33 - Distribuição manual das fibras.....	78
Figura 34 - Processo de formação da Manta.....	78
Figura 35 - Aspecto da manta de fibra de coco seco.....	79
Figura 36 - Camadas do compósito.....	80
Figura 37 - Montagem de molde para confecção placas.....	81
Figura 38 - Colocação da 1ª camada de gesso.....	82
Figura 39 - Colocação da manta.....	82
Figura 40 - Colocação da 2ª camada de gesso.....	83
Figura 41 - Espalhamento do gesso da 2ª camada.....	83
Figura 42 - Corte das amostras.....	84
Figura 43 - Detalhe do sensor e do procedimento de medição.....	89
Figura 44 - Localização dos pontos de medição.....	90
Figura 45 - Câmara de teste.....	91
Figura 46 - Fonte de radiação térmica.....	92
Figura 47 - Posicionamento termopares para análise da amostra SF.....	93
Figura 48 - Posicionamento termopares para análise da amostra CF1.....	93
Figura 49 - Posicionamento termopares para análise da amostra CF2.....	94
Figura 50 - Termopares fixados nas placas.....	94
Figura 51 - Fase de aquecimento.....	95
Figura 52 - Fase de aquecimento - Isolamento.....	95
Figura 53 - Posições do microfone, pontos 1 e 2, e distâncias no tubo.....	97
Figura 54 - Curva granulométrica do gesso.....	98
Figura 55 - Difratoograma do gesso.....	99
Figura 56 - Curva média força x alongamento.....	101
Figura 57 - Massa específica do compósito x espessura da manta.....	102
Figura 58 - Coeficiente de absorção x tempo.....	102
Figura 59 - Flexão: Gráfico tensão x deformação.....	103
Figura 60 - Compressão Flatwise: Gráfico tensão x espessura da manta.....	104
Figura 61 - Compressão Edjewise: Gráfico tensão x espessura da manta.....	105
Figura 62 - Condutividade Térmica x Espessura da Manta.....	106
Figura 63 - Capacidade Térmica Volumétrica x Espessura da Manta.....	107
Figura 64 - Difusividade Térmica x Espessura da Manta.....	107

Figura 65 - Gradiente de Temperatura x Espessura da Manta.	108
Figura 66 - Gradiente de Temperatura x Espessura da Manta	109
Figura 67 - Coeficiente de absorção sonora x Frequência	110

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Sistema cristalino da gipsita de acordo com seu beneficiamento ...	26
Tabela 2 - Tempos de início e fim de pega do gesso	32
Tabela 3 - Propriedades físicas e mecânicas do gesso	32
Tabela 4 - Caracterizações, química, física e mecânica do gesso	34
Tabela 5 - Evolução da produção de gipsita e gesso no Brasil	37
Tabela 6 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras vegetais	47
Tabela 7 - Teores em % de celulose, hemicelulose, lignina e pectina	48
Tabela 8 - Características físicas das fibras de coco	58
Tabela 9 - Características físicas das fibras Individuais de coco	59
Tabela 10 - Propriedades mecânicas das fibras de coco	59

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRACOCO	Associação Brasileira da Agroindústria de Coco
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CEPED	Centro de Pesquisa e Desenvolvimento
CF – 1	Amostra com manta de espessura 8 mm
CF – 2	Amostra com manta de espessura 10 mm
CCET	Centro de Ciências Exatas e da Terra da UFRN
CCET	Centro de Tecnologia da UFRN
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
INMETRO	Instituto Nacional Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISSO	International Organization for Standardization
LABCTEX	Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis do Departamento de Engenharia Têxtil do CT/UFRN
LMCME	Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais do Departamento de Física do CCET/UFRN
LTR	Laboratório de Termodinâmica e Reatores do Departamento de Engenharia Química do CT/UFRN.
LABQUITEX	Laboratório de Química Têxtil
LAENA	Laboratório de Ensaios Acústicos do INMETRO
NIT	Núcleo de Inovação Tecnológica da UFRN
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio a Pequena e Micro empresa
SF	Amostra sem manta
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SINDICOCO Sindicato da Indústria de Coco

SINDUSGESSO Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco

Capítulo 1

Introdução

O controle do conforto ambiental pode ser atingido através de estratégias de intervenções nos edifícios e na porção urbana – estabelecidas as devidas escalas de estudo – cujas tecnologias empregadas transcendam o uso de recursos não renováveis, que promovem impactos no meio ambiente.

Segundo PEDRINI (2002) as variações do consumo energético nas edificações estão relacionadas com as seguintes decisões passivas de projeto: a relação da abertura e área de piso do local, profundidade e pé-direito do local; orientação das fachadas, ângulos verticais e horizontais dos elementos de proteção solar; ventilação natural; iluminação natural; sistema construtivo das envoltivas. O conforto ambiental requer adicionalmente a busca por alternativas de projeto com menos impacto energético na arquitetura.

Da mesma forma, o desempenho térmico e acústico dos diversos componentes da edificação, notadamente daqueles utilizados nas suas vedações verticais, paredes e painéis, e as propriedades dos materiais empregados para revestimento dos mesmos, podem emprestar significativa contribuição na redução do consumo energético.

O avanço da civilização industrial, por outro lado, levou a demandas crescentes por recursos naturais. O desenvolvimento e a aplicação de qualquer tecnologia resultam no uso e na degradação de recursos naturais, com a consequente geração de resíduos, o consumo de certa quantidade de energia e de outros insumos, muitas vezes não renováveis.

Nesse contexto se insere a busca de soluções alternativas para as edificações, em termos de materiais e componentes, incentivando o uso de

tecnologias que além de reduzirem a geração de resíduos, privilegiem o emprego de produtos naturais e recicláveis, com reduzido impacto no meio ambiente, durante todo o seu ciclo de vida.

Vários fatores têm contribuído para a intensa atividade de pesquisa verificada nos últimos anos com relação às fibras vegetais. Em que pese a grande eficiência e diversidade de aplicações dos materiais sintéticos, os mesmos além de demandarem uma considerável quantidade de energia para serem produzidos, têm-se demonstrado problemáticos quanto à sua biocompatibilidade. Problemas relacionados à saúde dos operários que os manipulam, e a dos próprios usuários, constituem-se dificuldades adicionais que são observadas em relação aos produtos que utilizam fibras sintéticas como a lã mineral, a fibra de vidro e outras similares (Silva, A. M. P. et al., 1997).

Constituem-se, portanto, as fibras vegetais em importante e interessante alternativa no campo dos materiais fibrosos. Estas fibras, provenientes de fontes renováveis, estão disponíveis, com relativa facilidade no Brasil e em outros países em desenvolvimento. Além de serem biodegradáveis apresentam um baixo custo de produção, quando não chegam mesmo a se constituir em rejeito da atividade agrícola. Por serem orgânicas apresentam alto índice de biodegradabilidade e são produzidas com baixo custo.

Dentre as inúmeras possibilidades de fibras vegetais abundantes no Brasil, a fibra extraída da casca do coco vem se constituindo numa das alternativas mais consideradas e estudadas no país nos últimos anos.

Por outro lado, a presença do gesso na construção, em forma de revestimento de paredes de alvenaria e como material para construção de forros e das vedações internas dos imóveis, vem sendo cada vez mais difundida em função de suas propriedades, baixo custo e de sua plasticidade que permite produzir formas especiais de elementos diferenciados.

Embora o crescimento anual do uso do gesso, nos últimos anos, seja da ordem de 20 a 30 %, de acordo com dados do SINDUSGESSO referentes ao

ano de 2005, o consumo per capita do material no Brasil ainda não ultrapassava 13 quilos por pessoa ao ano, enquanto na Espanha era da ordem de 189,3Kg/habitante e nos Estados Unidos de 81,1Kg/habitante.

Na construção civil, o emprego do gesso divide-se em dois grupos básicos: para fundição e para revestimento. O gesso para revestimento é empregado para revestir paredes e tetos de ambientes internos e secos. Gesso para fundição, que é o foco deste trabalho, é o material empregado na fabricação de pré-moldados como peças para decoração, placas para forro e elementos para vedação vertical, blocos e chapas.

Como o seu processo de fabricação exige um baixo consumo de energia, quando comparado ao cimento Portland, o gesso constitui-se, nesse aspecto, em um ligante bem menos agressivo ao meio ambiente. A desidratação parcial do mineral gipsita para sua obtenção, ocorre a uma temperatura da ordem de 150°C. A calcinação do clínquer para obtenção do cimento ocorre, por sua vez, em temperaturas bem mais elevadas, em torno de 1.200 °C, ocasionando a liberação de grande quantidade de gás carbônico na atmosfera (Oliveira, M. P., 2009).

O mesmo, no entanto, não ocorre quando analisada a questão da produção de resíduos, uma vez que o gesso empresta significativa contribuição para o total de resíduos gerados pela construção civil.

Como a pasta de gesso apresenta um pH neutro, permitindo que o mesmo seja reforçado por fibras, inclusive vegetais, o uso desse tipo de compósito, por sua vez, também vem tendo crescente uso na indústria da construção. A finalidade desse reforço é o de melhorar as propriedades, basicamente mecânicas do gesso que é um material frágil, isto é, sofre ruptura sem, previamente, ter deformações plásticas significativas. A maior utilidade das fibras, nesse caso, é no comportamento do fibrogesso após a sua fratura ter se iniciado. A ductilidade pós-fratura que as fibras conferem ao material é o fator que destaca o composto em relação ao material sem fibras.

Painéis de gesso acartonado, sistema denominado drywall, estão sendo cada vez mais utilizados nas edificações, residenciais ou comerciais, como vedações internas em substituição a tradicional alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, em função da funcionalidade, tempo de execução e quase nenhum desperdício. Segundo LOSSO, M. et al., (2004), quando se pretende melhorar os desempenhos térmico e acústicos desse tipo de vedação, notadamente o segundo, o sistema é empregado com utilização de duas ou mais placas sobrepostas na espessura ou com a colocação de mantas de lã mineral para preenchimento do espaço entre as mesmas.

Painéis de divisórias de gesso reforçado com fibras de vidro tipo E, de preço mais baixo dentre as fibras de vidro, já são produzidos e utilizados pela indústria da construção civil. Esses painéis apresentam desempenho satisfatório e custos compatíveis com a alvenaria de blocos quando computadas as despesas com revestimento.

Nos fibrogessos, o preço das fibras sintéticas é parte considerável do custo final da produção. Por essa razão, outras fibras, notadamente as vegetais, estão sendo experimentadas para o reforço do dihidrato.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar os aspectos científicos e tecnológicos de um compósito proveniente da incorporação de manta de fibra de coco seco em matriz de gesso para fundição e efetuar uma análise comparativa entre as propriedades do material gesso e do compósito constituído por gesso (matriz), e manta de fibra de coco seco (reforço), indicando as possíveis potencialidades da utilização desse último na construção civil.

A pesquisa teve como variável a espessura da manta de fibra de coco seco.

Os objetivos específicos deste trabalho foram:

- Confeccionar mantas de fibra de coco seco com espessuras variáveis;

- Avaliar as alterações provocadas nas propriedades termo acústicas – condutividade térmica, difusividade térmica, capacidade térmica volumétrica e desempenho térmico - do gesso com a incorporação da manta de fibra de coco seco;
- Avaliar as alterações provocadas nas propriedades físico-mecânicas -do gesso com a incorporação da manta de fibra de coco seco;
- Incentivar o uso de tecnologias que além de reduzirem a geração de resíduos, privilegiem o emprego de produtos naturais e recicláveis,
- Incentivar a utilização de fibras vegetais na indústria da construção civil;
- Fortalecer a agroindústria do coco proporcionando a geração de empregos no meio rural;

O trabalho está apresentado na seguinte ordem:

- Capítulo 1 – Introdução;
- Capítulo 2–Revisão bibliográfica;
- Capítulo 3 – Materiais e Métodos;
- Capítulo 4 – Resultados e Discussões;
- Capítulo 5 – Conclusões.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Gesso

2.1.1 Gipsita

A gipsita, matéria prima para fabricação do gesso, mineral com consideráveis reservas na natureza, é um sulfato de cálcio dihidratado cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, geralmente ocorrendo associado a anidrita, sulfato de cálcio anidro (CaSO_4), que é um mineral sem maior expressão econômica.

A composição química média, ou estequiométrica, da gipsita apresenta 32,5% de CaO, 46,6% de SO_2 e 20,9% de H_2O . Quando submetido ao calor, temperaturas em torno de 160°C , desidrata-se parcialmente, originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$). Embora os termos “gipsita”, e “gesso”, sejam usualmente empregados como sinônimos, a denominação gipsita é realmente a mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto o termo gesso é o mais apropriado para designar o produto calcinado (SOBRINHO, et al.,2001).

A gipsita é encontrada na natureza, geralmente, em granulação fina a média, estratificada ou maciça, constituindo as denominadas rochas gipsíferas. Tem dureza 2 na escala de Mohs, densidade 2,35, índice de refração 1,53, é bastante solúvel e sua cor é variável entre incolor, branca, cinza, amarronzada, a depender das impurezas contidas nos cristais. Dessas rochas gipsíferas, fazem parte também eventualmente outros minerais, sempre em quantidades subordinadas, entre os quais se incluem a anidrita, a calcita, a dolomita, a halita, o enxofre, o quartzo e argilas. Na realidade são essas rochas que, sempre que os teores de SO_3 presentes satisfazem as exigências do mercado

consumidor, constituem o que se costuma designar de minério de gipsita (SOBRINHO, et al.,2001).

A microestrutura da gipsita em seu estado natural é constituída, conforme se observa na Figura 1, de cristais geminados que são aqueles que intercrescem de modo que certas direções do retículo são paralelas de sistema monoclinico (DANA, J. D., 1969).



Figura 1 - Cristais de gipsita (DANA, J.D., 1969)

A célula unitária da gipsita, conforme pode ser visualizado na Figura 2, é cúbica de face centrada (CFC), composta por 4 moléculas de SO_4^{2-} , 4 átomos de Ca^{2+} e 2 moléculas de água (CANUT, M. M. C., 2006).

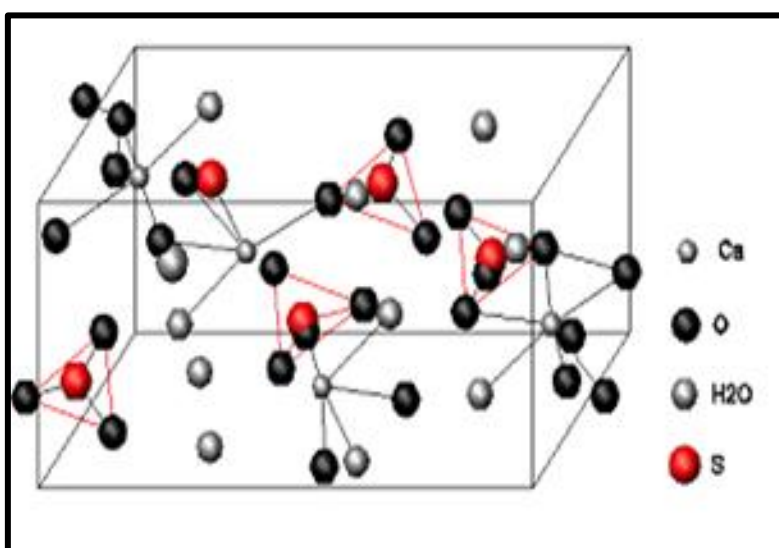


Figura 2 - Célula cristalina do mineral gipsita (CANUT, 2006)

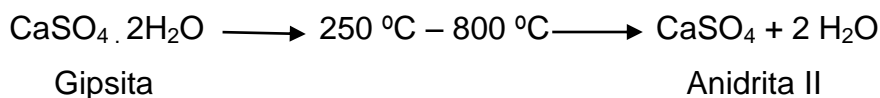
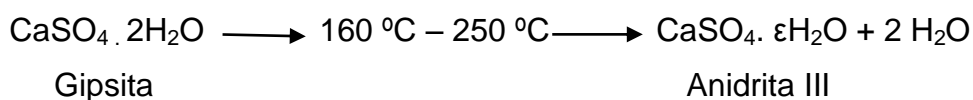
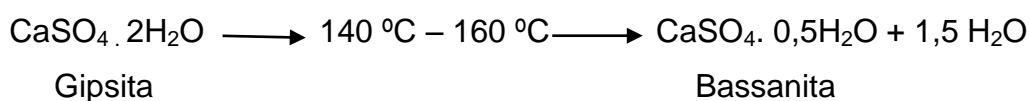
A gipsita pode apresentar, em função da temperatura de beneficiamento, uma fase e um sistema cristalino predominante. A Tabela 1 permite observar as mudanças do seu sistema cristalino em consonância com as mudanças de fase decorrentes das reações de desidratação. (DANA, J. D.,1969).

Tabela 1 - Sistema cristalino da gipsita de acordo com seu beneficiamento

FÓRMULA	SISTEMA CRISTALINO	MINERAL
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Monoclínico	Gipsita
$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	Hemihidrato
$\text{CaSO}_4 \cdot \epsilon\text{H}_2\text{O}$	Hexagonal	Anidrita III
CaSO_4	Ortorrômica	Anidrita II
CaSO_4	Cúbica	Anidrita I

Fonte: CANUT, 2006

As reações desidratação da gipsita podem ser observadas nas equações abaixo:



2.1.1.1 Reservas

Segundo dados do Ministério de Minas e Energia, os estados da Bahia (44%), Pará (31%) e Pernambuco (18%) concentram cerca de 93% das

reservas brasileiras de gipsita, que são da ordem de 1.367 milhões de toneladas. O restante das reservas encontra-se distribuído, em ordem decrescente, entre os Estados do Maranhão, Ceará, Piauí, Tocantins e Amazonas, conforme apresentado na Figura 3.

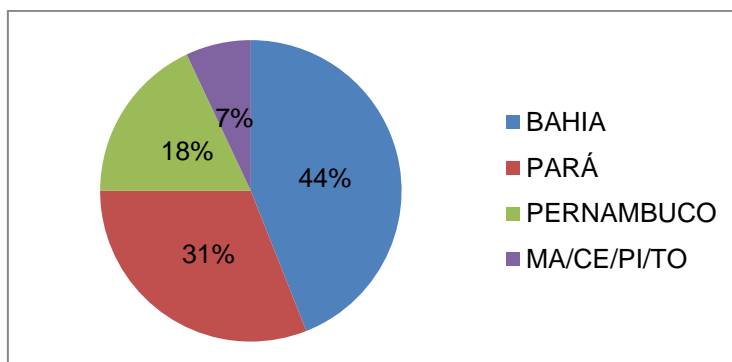


Figura 3 - Reservas brasileiras de gipsita (Balanço Mineral Brasileiro, 2001)

Em termos de aproveitamento econômico, a porção das reservas que apresenta melhores condições, ou seja, maior viabilidade encontra-se situada na Bacia do Araripe, região de fronteira dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, com destaque para as do primeiro. De acordo com dados do SINDUSGESSO no ano de 2008, com uma produção de 5,5 milhões de toneladas, o estado de Pernambuco respondeu com 95% da produção nacional, enquanto os estados do Maranhão, Ceará e Tocantins responderam, respectivamente, por 3,0%, 1,5% e 0,3%. Grande parte dessa produção, cerca de 96%, foi destinada a fabricação de blocos e placas e ao uso como revestimento que participaram, respectivamente, com 61% 35%, conforme pode ser observado na Figura 4.

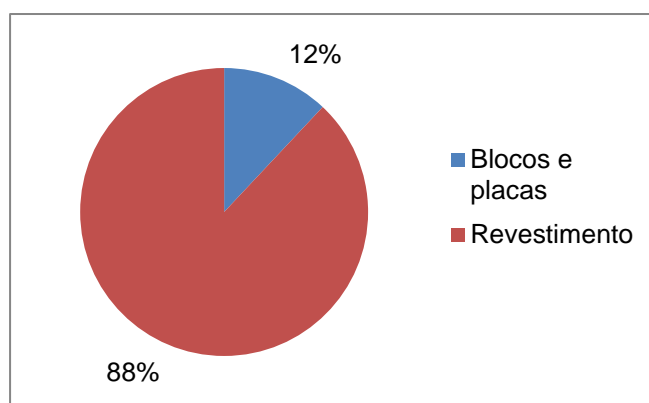


Figura 4 - Destinação da produção do gesso (SINDUSGESSO, 2008)

O aproveitamento das jazidas de gipsita na Bacia do Araripe em Pernambuco, concentradas nos municípios de Araripina, Bodocó, Exu, Ipubi, Ouricuri e Trindade, gerou um conjunto de atividades empresariais com forte reflexo na economia local, que recebeu a denominação de "Pólo Gesseiro do Araripe", Figura 5 a seguir apresentada. Os municípios de Araripina, Trindade e Ipubi, são responsáveis por mais de 90% da produção nacional de gesso (BALANÇO MINERAL BRASILEIRO, 2001; CANUT, 2006).

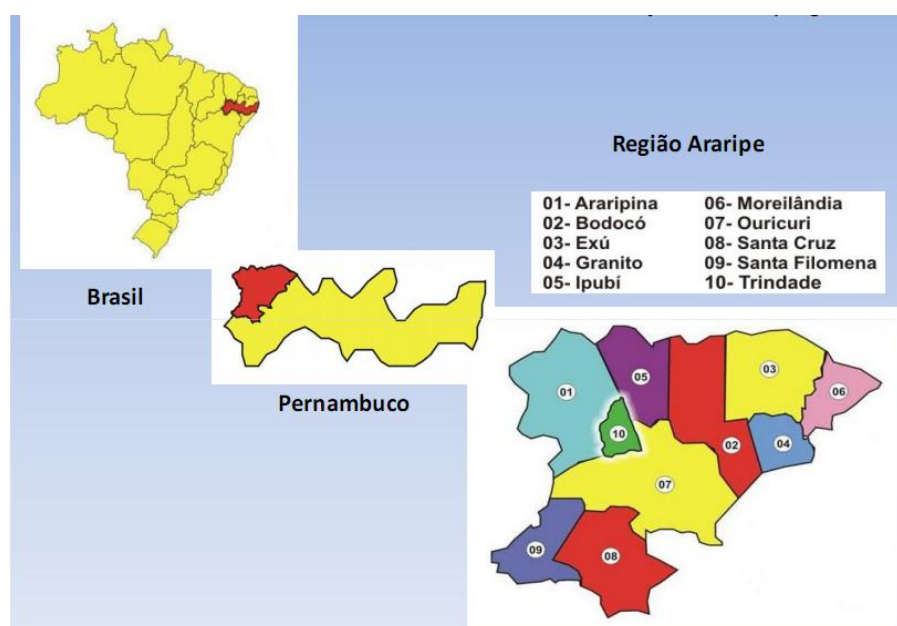


Figura 5 - Pólo Gesseiro do Araripe (Silva, J. B, 2008)

Por apresentar uma consistente concentração de sulfatos, da ordem de 90% a 95%, com impurezas de origem terrígena normalmente inferiores a 0,50% da rocha total, o minério gipsífero do Pólo Gesseiro do Araripe classifica-se como de excelente qualidade industrial. (BALANÇO MINERAL BRASILEIRO, 2001).

Os Estados Unidos da América são os maiores produtores e consumidores mundiais de gipsita, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 6.

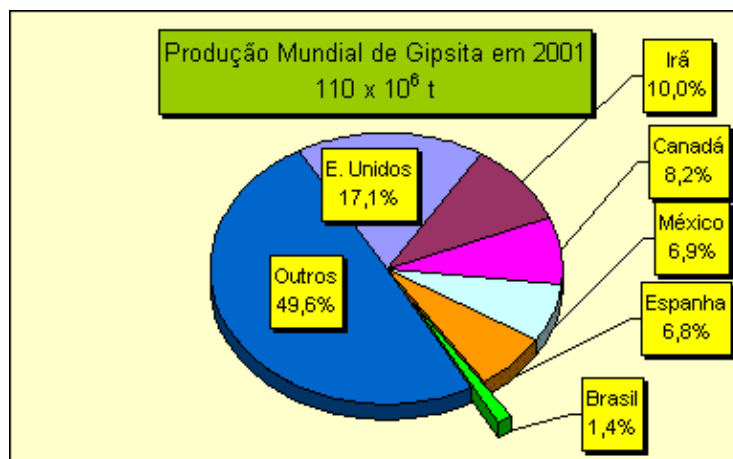


Figura 6 - Produção mundial gipsita (Branco, 2008)

2.1.1.2 Consumo

A gipsita “in natura”, cujo uso remonta a civilizações antigas como a Egípcia (3000 AC), tem utilização das mais diversificadas, com destaque para a indústria cimenteira e para a produção de gesso para a indústria da construção civil. Além desses, e de usos como corretivo de solos na agricultura, poderiam ainda ser destacados os seguintes usos industriais: como carga na fabricação de papel, tintas, etc.; no acabamento de tecidos de algodão; como distribuidor e carga de inseticidas; fundente de minérios de níquel; purificação de água para fabricação de cerveja; na confecção de moldes cerâmicos e odontológicos, etc.

Na Figura 7 pode ser visualizado o percentual de consumo dos setores que mais demandam a utilização da gipsita no Brasil, de acordo com o Balanço Mineral Brasileiro mais recente (2001).

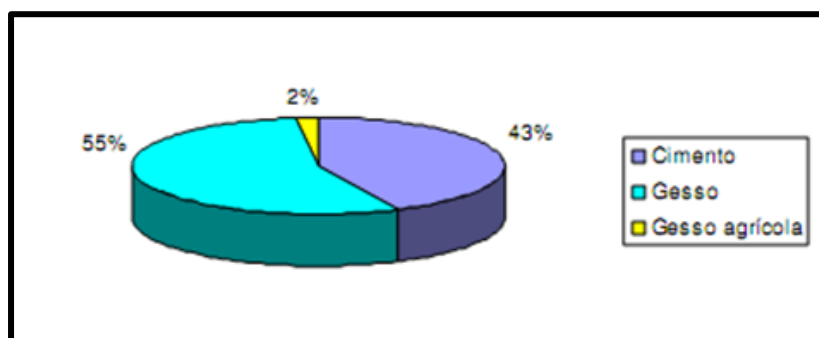


Figura 7 - Consumo setorial de gipsita no Brasil – 2000(Balanço Mineral Brasileiro, 2001)

2.1.2 O material gesso

O gesso é um aglomerante utilizado na indústria da construção civil, bem como em outros ramos industriais, obtido a partir da gipsita, mineral encontrado livre na natureza em consideráveis reservas. Pertence a uma família de aglomerantes simples constituídos, basicamente, de sulfatos, mais ou menos hidratados e anidros, de cálcio.

Constitui-se de um material de coloração branca, muito fino que em contato com a água se hidrata, num processo exotérmico, formando um produto, não hidráulico e rijo.

O processo industrial para obtenção do gesso é realizado a partir da desidratação por calcinação da gipsita natural, que é constituída de sulfato dihidratado de cálcio, normalmente acompanhado de uma pequena proporção de impurezas, seguida de moagem do produto e seleção em frações granulométricas.

O processo de calcinação pode ser realizado à pressão atmosférica, para obtenção do gesso β , ou hemidrato β , ou em autoclaves a pressões superiores a 100 KPa, para obtenção do gesso α , ou hemidrato α . Nesse último processo, a tecnologia empregada é mais sofisticada e o controle de qualidade, tanto da matéria-prima quanto do produto final, é bem mais rígido. O gesso β , sólido microporoso e mal cristalizado, tem sua utilização direcionada para a indústria de construção civil, enquanto o gesso α , com grande aplicação na odontologia, é bem cristalizado, constituindo-se em produto mais nobre e com preços mais elevados (SOBRINHO, et al., 2001).

O sulfato dihidratado de cálcio é conhecido nos países de língua inglesa como “gypsum”, enquanto o hemidrato de sulfato de cálcio como “plaster of Paris”. No Brasil ambos, o dihidrato e o hemidrato, recebem a denominação de gesso (Kano, W. M., 2009).

As empresas de beneficiamento fornecem ao mercado consumidor da construção civil o gesso na forma moída, em embalagens de 40kg e classificados em dois tipos (Silva, J. B, 2008):

- a) “gesso rápido” ou “gesso de fundição”, que tem início de pega entre 4 minutos e 10 minutos e fim de pega entre 20 minutos e 40 minutos após a adição da água. (NBR – 13207). Esse tipo é empregado na produção industrial, ou artesanal, de componentes pré-moldados destinados à construção civil;
- a) “gesso lento” ou “gesso de revestimento”, com início de pega após 10 minutos e fim de pega após 45 minutos, que é o tipo empregado no revestimento de paredes internas e tetos. (NBR – 13207).

2.1.2.1 Propriedades químicas, físicas e mecânicas do gesso

O bom desempenho do aglomerante gesso quando empregado em revestimentos ou na fabricação de pré-moldados deve-se as suas propriedades específicas: tempos de pega e endurecimento; finura equivalente ao cimento; pequeno poder de retração na secagem e estabilidade volumétrica.

De acordo com BAUER, 2000 & CINCOTTO, 1998 apud SILVA, J. B. (2008), as propriedades do gesso apresentam as seguintes características:

- a) **Pega:** o gesso misturado com a água começa a endurecer em razão da formação de uma malha imbricada, de finos cristais de sulfato hidratado. Depois do início da pega, o gesso, tal como outros materiais aglomerantes, continua a endurecer, ganhando resistência, num processo que pode durar semanas. A velocidade de endurecimento das massas de gesso depende dos seguintes fatores:
 - temperatura e tempo de calcinação;

- finura;
- quantidade de água de amassamento;
- presença de impurezas ou aditivos.

Segundo a Norma Brasileira NBR 12128, o “tempo de **início** de pega”, é o tempo decorrido a partir do momento que o gesso tomou contato com a água até o instante em que a agulha do aparelho de VICAT não mais penetra até o fundo, estacionando a 1 mm do mesmo. Por outro lado, o “tempo de **fim** de pega” é o tempo decorrido a partir do momento que o gesso entra em contato com a água até o instante que a agulha do aparelho de VICAT não mais deixa impressão na superfície. Na Tabela 2 a seguir são apresentados os tempos de início e fim de pega para o gesso.

Tabela 2 - Tempos de início e fim de pega do gesso

TEMPOS	APLICAÇÃO	NBR 13027	VARIAÇÃO
INÍCIO	Revestimento	>10 minutos	3,5 ≈ 30 minutos
	Fundição	4 a 10 minutos	
FIM	Revestimento	≥ 45 minutos	5 ≈ 25 minutos
	Fundição	>45 minutos	

- b) **Propriedades físicas e mecânicas:** A NBR 13207 define as exigências físicas e mecânicas que devem ser atendidas pelo gesso para construção conforme se observa na Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades físicas e mecânicas do gesso

PROPRIEDADE	UNIDADE	LIMITES	NORMA
Resistência à compressão	Mpa	> 8,40	NBR 12129
Dureza	N/mm ²	> 30,00	NBR 12129
Massa unitária	Kg/m ³	> 700,00	NBR 12127

- c) **Aderência:** As pastas e argamassas de gesso aderem muito bem a tijolo, pedra e ferro, mas aderem mal às superfícies de madeira. A aderência ferro-gesso, embora traduza uma compatibilidade físico-química entre os dois materiais, tem, infelizmente, o defeito de ser instável, permitindo a corrosão do metal.

- d) **Isolamento:** As pastas endurecidas de gesso gozam de boas propriedades de isolamento térmico acústico e impermeabilidade do ar. Sua condutibilidade térmica é muito baixa (0,40 cal/h/cm²/°C/cm), cerca de 1/3 do valor para o tijolo comum.

- e) **Resistência ao fogo.** A propriedade de absorver e liberar umidade ao ambiente confere aos revestimentos realizados com gesso considerável resistência ao fogo. A água de cristalização é eliminada pelo calor, reduzindo o material superficial à condição de pó, que não sendo removido, atua como um isolador que protege a camada interior do gesso.

Os dados inerentes às caracterizações química, física e mecânica de um gesso para fundição, que é composto basicamente por um hemidrato e foi o tipo empregado nesse trabalho, são apresentados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Caracterizações, química, física e mecânica do gesso

CARACTERÍSTICAS	VALORES	MÉTODOS	LIMITE NBR-13.207
QUÍMICAS			
Óxido de Cálcio- CaO (%)	43,26	Fluorescência de raios X	>38
Anidrido Sulfúrico-SO ₃ (%)	54,96		>53
Óxido de Magnésio-MgO (%)	0,09		
FÍSICAS E MECÂNICAS			
Módulo de Finura	0,08		< 1,10
Massa Unitária (g/cm ³)	0,62	NBR 12.127	< 0,70
Massa Específica (g/cm ³)	2,60	NBR NM 23	
Área Específica (cm ² /g)	7.643	NBR NM 76	
Consistência Normal (a/g)	0,60		
Tempo de início de Pega (min)	18,95	NBR 12.128	>10
Tempo de fim de Pega (min)	34,30		>45
Resistência à Compressão (MPa)	9,0		>8,4
Resistência à Tração na Flexão (MPa)	3,9	NBR 12.129	>3

Fonte: Oliveira, M.P. (2009)

2.1.2.2 Análise microestrutural

De acordo com OLIVEIRA, M. P. (2009) o crescimento dos cristais de dihidrato ocorre a partir de germes de cristalização ou núcleos. O número de núcleos existentes na solução tem influência no tamanho dos cristais, que durante a hidratação do hemidrato assumem a forma de agulhas entrelaçadas, bem como na taxa de crescimento da microestrutura, o que pode ser observado na Microscopia Eletrônica de Varredura apresentada na Figura 8.

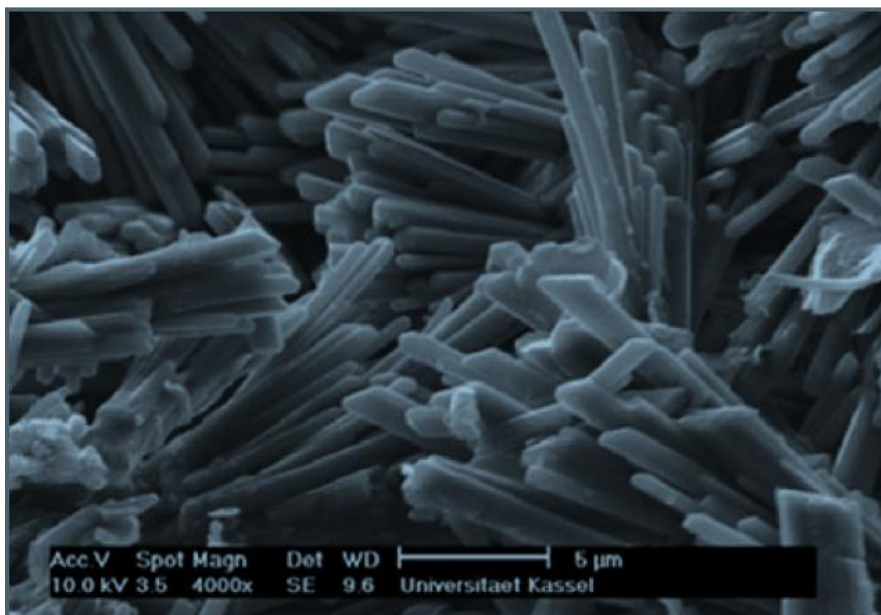


Figura 8 - Cristais de dihidrato, aumento 4000x (SINGH E MIDDENDORF, 2007, apud OLIVEIRA, M. P. 2009)

2.1.2.3 O Uso do gesso na construção civil

O emprego do gesso como material de construção remonta aos primórdios da civilização, constituindo-se no mais antigo aglomerante de que se tem notícia. Suas técnicas de calcinação e suas propriedades hidráulicas já eram do conhecimento dos antigos egípcios o que permite inferir que o material era amplamente utilizado por civilizações anteriores a essa.

Embora a fabricação de gesso ainda fosse de certa forma empírica e rudimentar, no século XVIII sua utilização já era tão generalizada na Europa ao ponto de na França cerca de 75% das construções, abrangendo hotéis, prédios públicos e populares, serem realizadas em panos de madeira e argamassa de gesso (SILVA, J.B, 2008).

A partir do século XX, em função da evolução industrial, os equipamentos para a fabricação de gesso deixaram de ter um conceito rudimentar e passaram a agregar novas tecnologias, assim como a melhoria dos produtos passou a facilitar suas formas de emprego pelo homem (LE PLÂTRE, 1982).

No Brasil o consumo de gesso pela indústria da construção civil começa a sofrer grande incremento nas duas últimas décadas com a consolidação do pólo gesseiro do Araripe e com a adoção da tecnologia do uso de divisórias de gesso, sistema drywall, em substituição as vedações internas das edificações (paredes e tetos), sistema esse largamente empregado nos Estados Unidos e na Europa há mais de cem anos. No Brasil, o sistema drywall vem ganhando espaço nos últimos anos também em função da presença de três grandes fabricantes europeus deste sistema: Lafarge (francesa), Knauf (alemã) e a Placo (francesa).

Existem atualmente na região do Araripe cerca de 400 empresas, entre mineradoras, calcinadoras e fábricas de blocos e placas de gesso, produzindo 2,8 milhões de toneladas/ano, gerando cerca de 12 mil empregos diretos e 60 mil empregos indiretos, sendo considerado uma base econômica de forte influência nacional (SEBRAE, 2008).

Segundo dados do SINDUSGESSO referentes ao ano de 2005, embora o crescimento do consumo anual de gesso no Brasil seja constante e considerável, da ordem de 20 a 30%, quando tomado per capita, cerca de 13Kg de gesso por habitante, ainda é pouco significativo quando comparado ao seu consumo nos Estados Unidos, 81,1 Kg/habitante, e no Canadá, 315,6 Kg/habitante. Na Tabela 5 é apresentada a evolução da produção no Brasil do gesso e gipsita, em toneladas, no período 1988/2000.

Tabela 5 - Evolução da produção de gipsita e gesso no Brasil

ANOS	GIPSITA	GESSO
1988	788.673	275.231
1989	860.620	313.736
1990	823.688	288.137
1991	969.814	343.060
1992	896.925	372.232
1993	906.135	305.680
1994	834.187	319.222
1995	953.116	426.996
1996	1.126.106	457.654
1997	1.507.114	522.640
1998	1.531.957	665.783
1999	1.527.599	598.686
2000	1.541.109	670.270

Fonte: Sobrinho, 2011

Na indústria brasileira da construção civil, o gesso tem as seguintes aplicações:

- Revestimento interno de paredes e tetos;
- Divisórias em blocos ou painéis;
- Forros.

2.1.2.3.1 Revestimento interno de paredes e tetos

A utilização básica do gesso como revestimento nas edificações é no acabamento de paredes internas, ou de tetos, aplicado diretamente sobre os blocos de vedação, cerâmicos ou de concreto.

O material gesso adequa-se bem a esses serviços de revestimento, seja utilizado simplesmente como pasta obtida pelo amassamento com a água, seja como argamassa em mistura com areia fina.

A utilização do gesso com essa finalidade vem possibilitando uma sensível redução nos custos com revestimento nas edificações em função dos seguintes aspectos:

- Em função de sua boa aderência a superfície dos blocos de vedação, dispensa a aplicação de chapisco prévio, o que não ocorre com o revestimento tradicional com uso de argamassas mistas de cimento, cal e areia;
- Proporciona superfícies com fino acabamento dispensando a aplicação de massa corrida na preparação das superfícies para a pintura;
- Facilidade e rapidez de aplicação o que, aliado aos aspectos anteriores, possibilita uma sensível redução nos tempos despendidos na realização desses serviços.

2.1.2.3.2 Vedações internas ou divisórias em blocos e painéis

2.1.2.3.2.1 Vedações internas ou divisórias em blocos

Os blocos de gesso são elementos pré-moldados, fabricados por processo de moldagem, apresentando acabamento perfeito nas suas superfícies, utilizados na construção de paredes internas ou divisórias. Os blocos, que apresentam duas faces planas e lisas, se encaixam perfeitamente e, após a montagem da parede, obtém-se uma superfície plana e pronta para receber acabamento.

Podem ser vazados, com dutos internos, ou compactos, conforme pode ser visualizado na Figura 9. Os blocos vazados são utilizados quando

se deseja diminuir o peso das paredes, ou melhorar o isolamento acústico, enquanto os blocos compactos permitem construir paredes com maior altura. Apresentam duas faces planas e lisas, se encaixam perfeitamente e, após a montagem da parede, obtém-se uma superfície plana e pronta para receber acabamento.

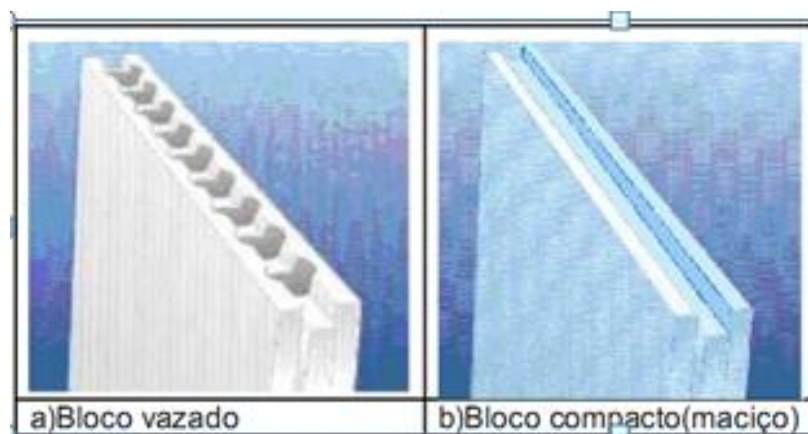


Figura 9 - Blocos de gesso; (a) Vazado; (b) Compacto

2.1.2.3.2 Vedações internas ou divisórias em painéis

A utilização do sistema de divisórias com placas de gesso acartonado, denominado drywall, vem sofrendo uma grande expansão no país em função de diversas vantagens comparativas, notadamente tempo de execução e menor custo com acabamentos, em substituição a tradicional alvenaria com blocos cerâmicos.

Gesso acartonado é uma placa produzida industrialmente que leva o nome de suas matérias primas básicas, ou seja, o gesso e o papel cartão, conferindo respectivamente a resistência a compressão e a flexão do produto acabado. As chapas de gesso são fabricadas industrialmente mediante um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos, entre duas lâminas de cartão, em que uma é virada sobre as bordas longitudinais e colada sobre a outra.

A concepção básica do sistema de paredes, como pode ser observado na Figura 10, é de uma estrutura leve em perfis de chapas de

aço galvanizado, constituída basicamente por guias e montantes, sobre os quais são fixadas chapas de gesso, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície pronta para receber o acabamento final (pintura, papel de parede, cerâmica, laminados plásticos, etc.).

As divisórias com gesso acartonado podem ser montadas em chapas simples ou duplas. Quando montadas com chapas duplas recebem tratamento com lã mineral, internamente, como forma de melhorar o desempenho térmico e acústico.

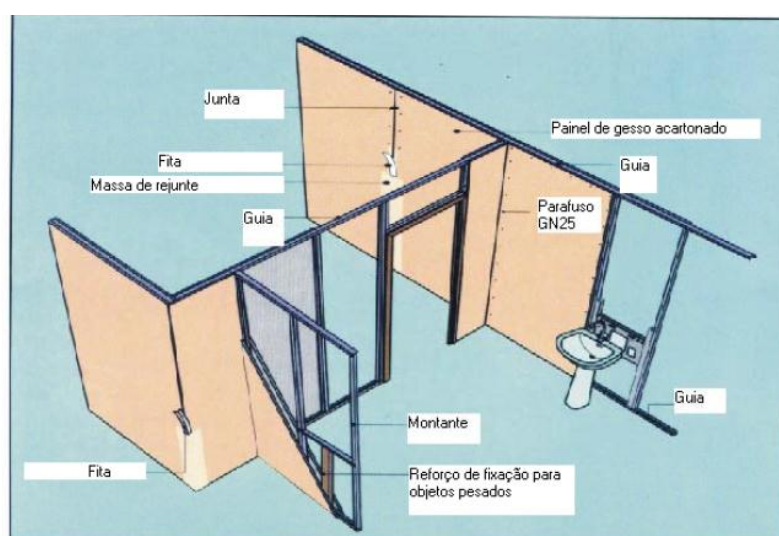


Figura 10 - Divisórias em drywall (BARROS FILHO, R.M, 2010)

2.1.2.3.2 Forros

Existem no mercado dois tipos de forro de gesso:

- Placas convencionais no formato 60x60cm, dotadas de encaixe tipo macho e fêmea, fixadas por arame presos no teto, Figura 11.
- Placas em gesso acartonado, nos formatos 60x200cm e 120x240cm, sendo as primeiras fixadas através de processo similar às placas convencionais e as segundas fixadas com utilização de perfis metálicos, Figura 12.

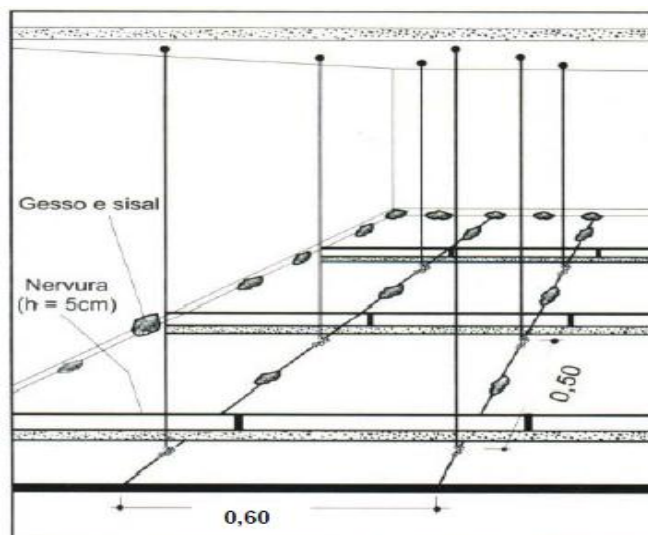


Figura 11 - Forro em placas convencionais fixadas com arame (BARROS FILHO, R.M, 2010)

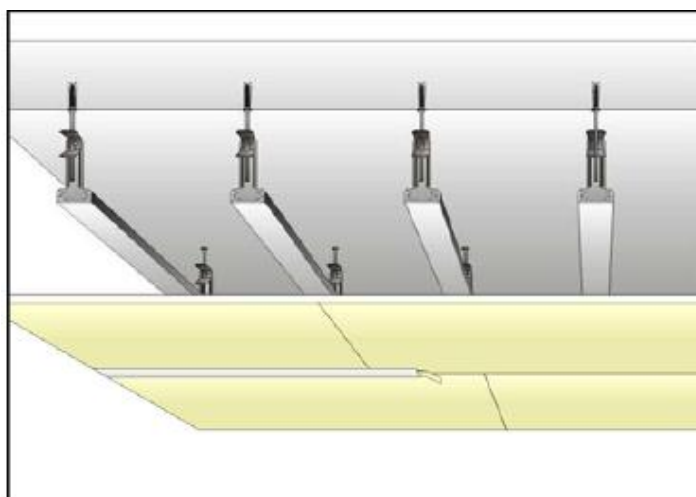


Figura 12 - Placas em gesso acartonado fixadas com perfis metálicos (BARROS FILHO, R.M, 2010)

2.1.2.2.3 A geração de resíduos

O uso do gesso pela indústria de construção civil, como revestimento ou como painéis e blocos de vedação, contribui de maneira bastante significativa para a geração de resíduos e, conseqüentemente, para a degradação ambiental, uma vez que os seus resíduos são classificados pela Resolução nº 307 do CONAMA como sendo de classe C – “são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações tecnicamente viáveis que permitam sua reciclagem/recuperação”.

Quando aplicado como revestimento diretamente sobre a alvenaria o gesso gera grande quantidade de resíduos em função, principalmente, da sua grande velocidade de endurecimento e de uma mão de obra com baixa qualificação (SILVA, J. B., 2008).

O desperdício de gesso na construção civil foi estimado pelo Projeto FINEP HABITARE como sendo da ordem de 45%, enquanto os fabricantes do material estimam essas perdas em 30% (AGOPYAN, 1998 apud SILVA, J. B., 2008).

Segundo dados do SINDUSGESSO, referentes ao ano de 2008, dentre o total de resíduos do gesso na construção civil, o resíduo de gesso de revestimento responde por 88% do total, enquanto os concernentes aos painéis e blocos de gesso totalizam apenas 12%, conforme pode ser observado na Figura 13.

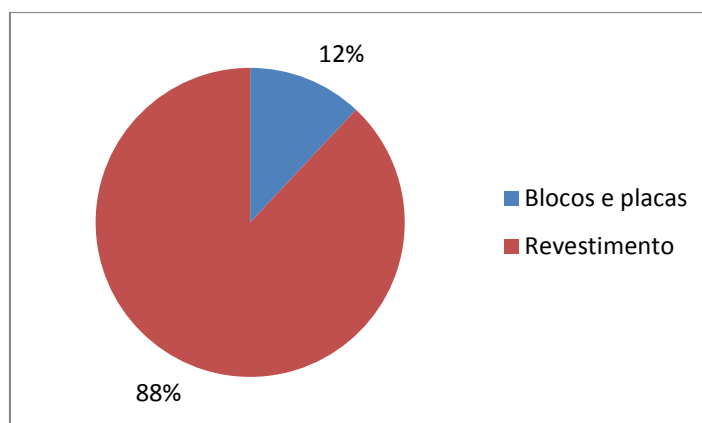


Figura 13 - Resíduos do gesso na construção (SINDUSGESSO, 2008)

2.2 Fibras

As fibras, que podem ser divididas em dois grupos principais, fibras naturais e fibras feitas pelo homem, podem ser definidas, geralmente, como uma matéria-prima têxtil caracterizada pela flexibilidade, finura e alta razão do comprimento para espessura (LADCHUMANANAMDASIVAM, 2006).

São consideradas fibras naturais aquelas que ocorrem na natureza, sejam de origem animal, mineral ou vegetal. As fibras vegetais são formadas por células vegetais alongadas, tendo como base a celulose. As de origem animal, cuja base é a queratina, incluem diversos tipos de pelos de animais, como a lã de tosquia e os filamentos fiáveis formados pela secreção das glândulas do bicho da seda. Como exemplo de fibra de origem mineral podem ser citados o amianto e a Wollastonita.

2.2.1 Fibras vegetais

As fibras vegetais são estruturas alongadas de seção transversal achatada e vazada (lúmen) e de acordo com a origem anatômica podem ser classificadas como fibras de semente (algodão, capoc), fibras de caule (juta, linho, cânhamo, etc.), fibras de folhas (bananeira, sisal, abacaxi, curauá, etc.), fibras de frutos (coco) e fibras de raiz (zacatão) LADCHUMANANAMDASIVAM (2006).

Embora ainda pouco exploradas no Brasil as fibras vegetais, ou lignocelulósicas, apresentam um grande potencial de utilização em substituição as fibras sintéticas, hoje bastante empregadas na indústria para obtenção de materiais compósitos, com desempenho mecânico equivalente e apresentando vantagens sobre esses materiais por apresentarem, entre outras vantagens, menor custo de produção, menor peso e maior tenacidade.

Além de se originarem de uma fonte renovável, as fibras vegetais são biodegradáveis, causando, conseqüentemente, menos impacto ambiental, além de demandarem menor consumo de energia no processo produtivo. Como muitas delas constituem-se em resíduos da atividade agroindustrial terminam por apresentar menor custo de produção, quando comparadas às fibras sintéticas, além de possibilitarem a agregação de valor aos produtos agrícolas e contribuir para a geração de empregos no campo.

Em 1970, na Inglaterra, foi iniciado o estudo sistemático de fibras com finalidade de reforço de matrizes frágeis. As primeiras experiências nesse sentido no Brasil foram realizadas, em 1980, pelo Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), de Camaçari, Bahia.

No Brasil diversas são as fibras de origem vegetal com grande potencial de aplicação na fabricação de compósitos em substituição as fibras sintéticas, dentre as quais podem ser citadas as do sisal, do coco, tanto verde quanto seco, da juta, do rami, da malva, do abacaxi e do curauá.

Diversas experiências já foram relatadas no Brasil (Guimarães, 1990) sobre o uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras naturais para produção de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical, caixas d'água e outros.

Agopyan, V. (1991) relacionou 19 fibras com potencial de utilização na construção civil como reforço de matrizes frágeis. Após estudar as propriedades mecânicas e características físicas, selecionou, dentre as 19, as fibras de coco e de sisal, fartamente disponíveis a preço relativamente baixo, como mais adequadas, razão do grande número de estudos no Brasil e no exterior sobre as mesmas.

LADCHUMANANANDASIVAM (2009) enumerou as principais vantagens e desvantagens das fibras vegetais quando comparadas com as sintéticas:

a) Vantagens:

- Baixa massa específica;
- Provenientes de fontes renováveis exigindo baixo consumo de energia no processo de produção;
- Boas propriedades acústicas, térmicas e baixa abrasividade;
- Compósitos com baixo custo na produção;

- Fácil processamento;
- Melhores condições de trabalho;
- Bons isolantes térmicos e acústicos;
- Biodegradáveis.

b) Desvantagens:

- Menor resistência à tração;
- Propriedades variáveis de fibra para fibra. Dependem de fatores imprevisíveis como o clima;
- Temperatura de processamento limitada;
- Menor resistência ao fogo;
- Fibras com comprimentos irregulares, sendo necessário processo de fiação para obter fios contínuos.

2.2.1.1 Características das fibras vegetais

2.2.1.1.1 Macroestrutura das fibras vegetais

De acordo com GRIFFIN,1994 apud SAVASTANO JÚNIOR et al., 1997 quando analisadas as características macroscópicas as propriedades físicas e mecânicas de maior interesse no estudo das fibras vegetais são aquelas inter-relacionadas com o comportamento dos compósitos resultantes, quais sejam:

- Dimensões – O diâmetro e comprimento da fibra, notadamente a relação entre eles, é fator determinante na transferência de esforços para a matriz;
- Seção transversal – A seção transversal irregular das fibras vegetais, bem como seu aspecto fibrilado, exercem influência positiva sobre a ancoragem dessas fibras, junto a matrizes frágeis;

- Volume de vazios – A absorção de água é muito alta, já nos primeiros instantes de imersão, em função da grande porcentagem volumétrica de vazios permeáveis. Se por um lado o elevado volume contribua positivamente para um menor peso, maior absorção acústica e menor condutibilidade térmica dos compósitos, por outro pode ocasionar interferência negativa na relação água/aglomerante da matriz, bem como, intumescimento e posterior retração da fibra;
- Resistência à tração - Semelhante, em média, à das fibras de polipropileno;
- Módulo de elasticidade – Apresentam baixo módulo o que se constitui em fator determinante para seu emprego em componentes construtivos que trabalhem no estágio pós-fissurado, com elevadas absorção de energia e resistência a esforços dinâmicos.

As propriedades físicas e mecânicas de algumas fibras vegetais são apresentadas na Tabela 6, onde também constam, para efeito de comparação, idênticas propriedades para as fibras de amianto crisotila e polipropileno comum (SAVASTANO JÚNIOR et al., 1994).

Tabela 6 - Propriedades físicas e mecânicas de fibras vegetais

Propriedades	Coco	Sisal	Malva	Amianto Crisotila	Polipropileno comum (filam)
Massa espec. real (Kg/m ³)	1.177	1.370,0	1.409,0	2.200,0 a 2.600,0	913,0
Vol. de vazios permeáveis (%)	56,6	60,9	74,2	-	-
Absorção máxima (%)	93,8	110,0	182,2	-	-
Alongamento na ruptura (%)	23,9 a 51,4	4,9 a 5,4	5,2	2,0	22,3 a 26,0
Resistência à tração (MPa)	95 a 118	347,0 a 378,0	160,0	560,0 a 750,0	250,0
Módulo de elasticidade (GPa)	2,8	15,2	17,4	164,0	2,0

Fonte: SAVASTANO JÚNIOR et al., 1994

2.2.1.1.2 Microestrutura das fibras vegetais

As fibras vegetais são basicamente constituídas de celulose, hemicelulose, lignina, além de pequenas quantidades de pectina, sais inorgânicos, substâncias nitrogenadas, corantes naturais, que são incluídos no que se denomina de fração de solúveis.

De acordo com ANSEL, M., 2009 e LADCHUMANANANDASIVAM, 2009, os teores de celulose, hemicelulose, lignina e pectina de diversas fibras vegetais são os apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Teores em % de celulose, hemicelulose, lignina e pectina

FIBRA	CELULOSE		HEMICELULOSE		LIGNINA		PECTINA	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Algodão	82 - 96		2 -6,4		0 - 5		1 - 7	
Linho	60 - 81	56,5 – 62,8	14 – 20,6	15,4-17,1	2,2-6	2,5-2,8	1 - 4	3.8-4,2
Cânhamo	70 - 92	67	18 - 22	16,1	3 - 5	3,3	1	0,8
Juta	51 - 84	64.4	12 - 20	12	5 - 13	11,8	0,2	0,2
Kenaf	44 - 87	-	22	-	15 - 19	-	2	-
Rami	68 - 76	69,4	13 - 15	13,1	0,6 - 1	-	2	13,3
Banana	60 - 65	-	6 - 19	-	5 - 12	-	3-5	-
Abacaxi	70 - 82	-	16 - 19	-	5 - 12	-	2-3	-
Sisal	43 - 46	65,8	0,25	12	45 - 46	0,8	0,8-2	9,9
Coco	43 - 46	36 – 46	0,25	0,15 – ,25	45 - 46	41 - 45	3 - 4	3 - 4

Fontes: (1) - ANSEL, M., 2009; (2) – LADCHUMANANANDASIVAM, 2009

De acordo com SAVASTANO JÚNIOR & AGOPYAN, 1997, as fibras, do modo como denominadas usualmente, na verdade são feixes constituídos por células individuais que, por sua vez, compõem-se de microfibrilas que são ricas em celulose - polímero vegetal com grau de polimerização da ordem de 25.000, Figura 14 a seguir apresentada.

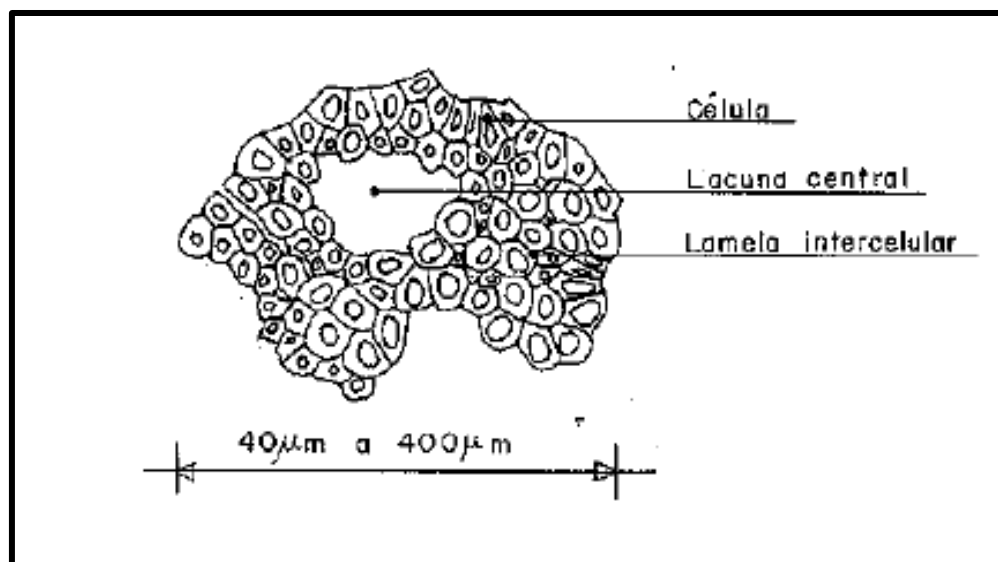


Figura 14 - Fibra: Aglomerado de células (SAVASTANO JÚNIOR & AGOPYAN, 1997)

Segundo COUTTS, 1992, as células são compostas por quatro camadas de microfibrilas e uma cavidade central. As duas camadas mais externas têm estrutura reticulada. A camada subsequente (S2) apresenta microfibrilas orientadas segundo o ângulo θ , com relação ao eixo longitudinal da célula, em espiral; é também a camada mais espessa e com maior teor de celulose. As diversas células que compõem a fibra encontram-se aglomeradas pela lamela intercelular, composta de hemicelulose, pectina e, principalmente, lignina (70%, em média). A região central da fibra também pode apresentar uma cavidade denominada lúmen, responsável pela sua elevada capacidade de absorver água. A sequência e subdivisão das camadas podem ser observadas na Figura 15 a seguir apresentada.

Microscopia eletrônica (MEV)
de uma fibra vegetal

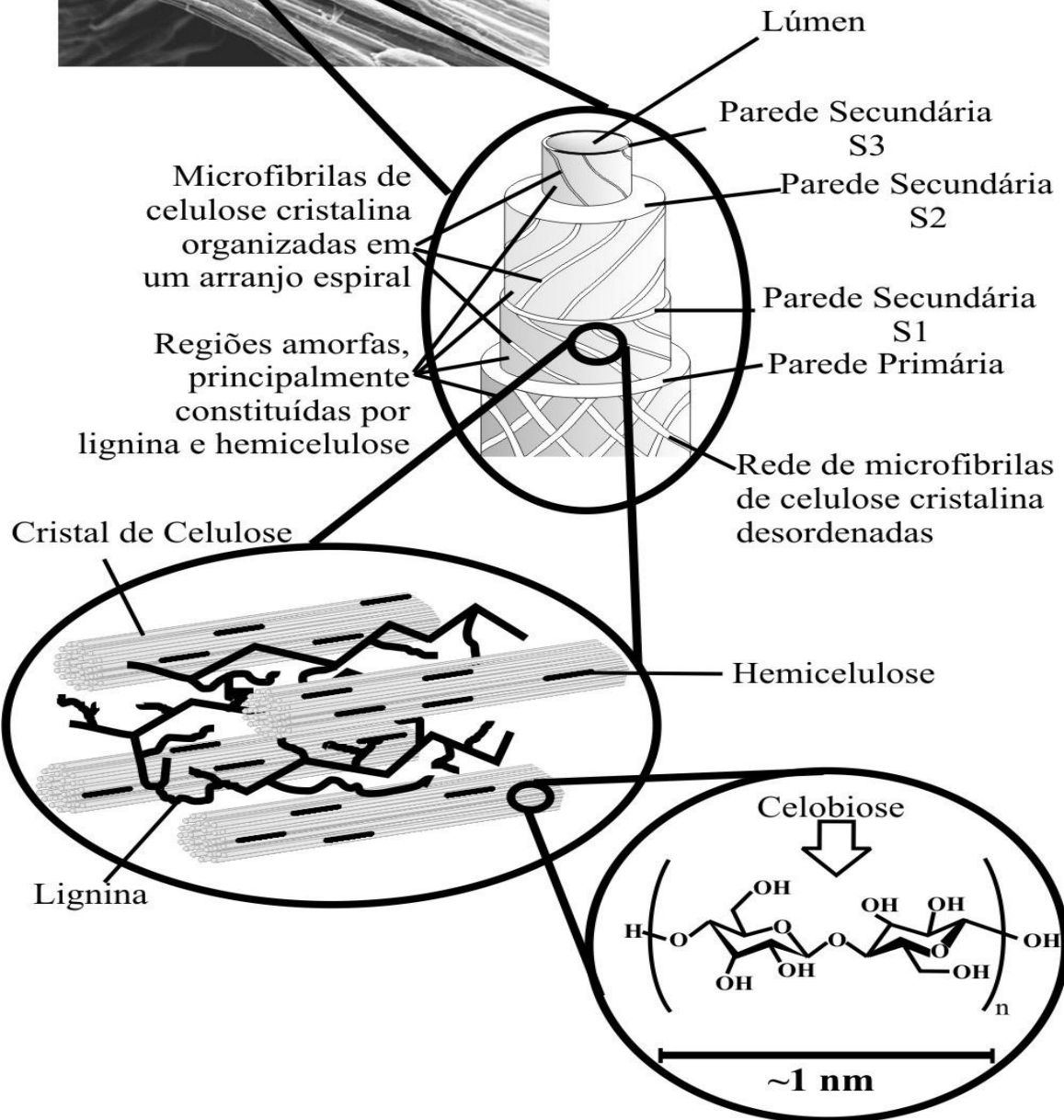
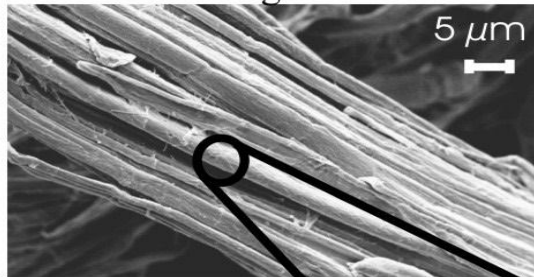


Figura 15 - Constituição elementar das fibras vegetais (SILVA, 2009, apud Pimentel, J. R. M, 2012)

Segundo SAVASTANO JÚNIOR & AGOPYAN, 1997, o ângulo θ médio formado pelas microfibrilas com o eixo longitudinal da célula das fibras de coco (*Cocos nucifera* Linn.) situa-se na faixa entre 30 – 49°C, enquanto para as fibras de sisal (*Agave sisalana* Perine) entre 10 – 22°C. Já para as fibras de malva (*Urena lobata* Linn.) o ângulo θ é da ordem de 8°C.

Realizando uma comparação desses valores do ângulo θ com os valores constantes das Tabelas 5 e 6, constata-se que a resistência à tração e o módulo de elasticidade das fibras variam diretamente com o teor de celulose e inversamente com o ângulo θ das microfibrilas. Por outro lado o alongamento máximo de ruptura é diretamente proporcional ao ângulo θ , ou seja, aumenta com o mesmo, uma vez que para o estiramento das microfibrilas torna-se necessário um maior trabalho de fratura (SAVASTANO JÚNIOR & AGOPYAN, 1997).

FAGURY, R. V. G., 2005, realizou a análise de três fibras vegetais – açaí, coco e juta – no MEV, observando as seções transversais e longitudinais, os diâmetros externos e internos e o diâmetro do lúmen. Na análise da seção longitudinal, Figuras 16, 17 e 18 que seguem, observou que a fibra de açaí apresentava uma superfície irregular com cavidades, relevos, enquanto as irregularidades superficiais da fibra de coco eram mais uniformes, com cavidades mais rasas. As fibras de juta, por sua vez apresentavam também irregularidades e superfície com aspecto de escama.

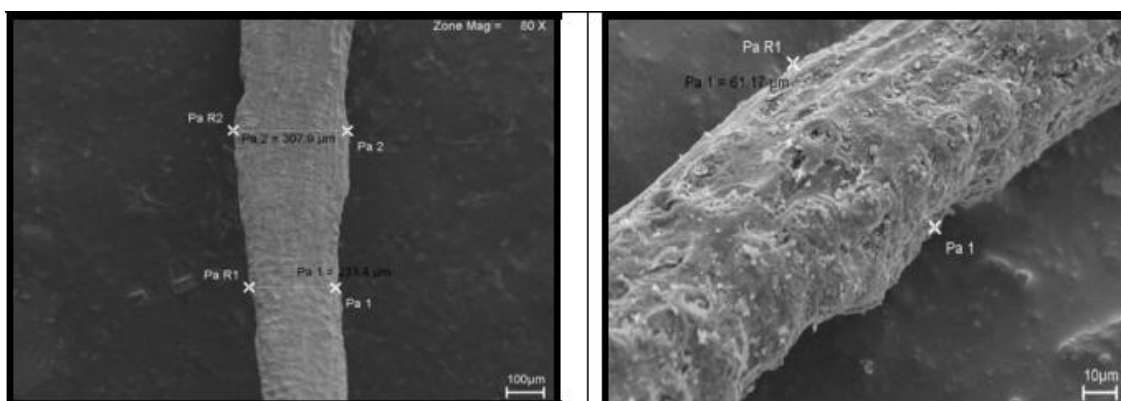


Figura 16 - Superfície longitudinal da fibra de açaí (FAGURY, R. V. G., 2005)

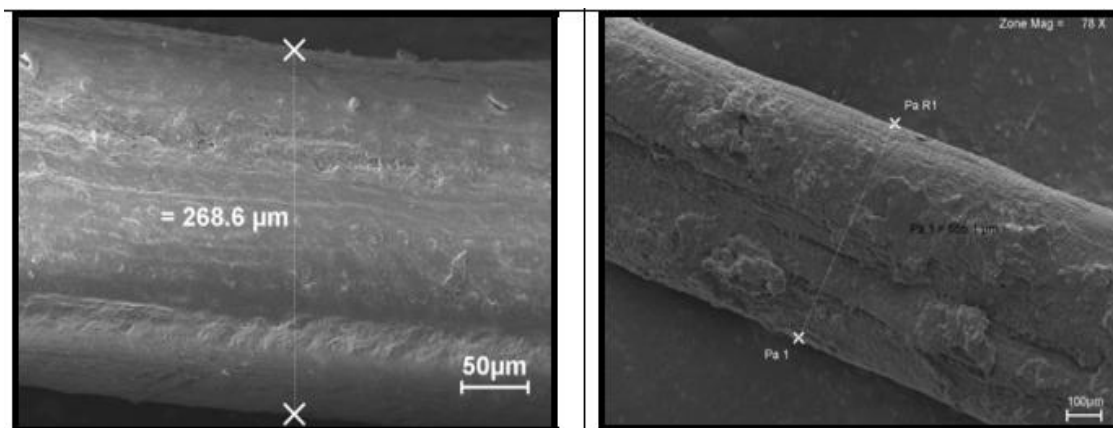


Figura 17 - Superfície longitudinal da fibra de coco (FAGURY, R. V. G., 2005)

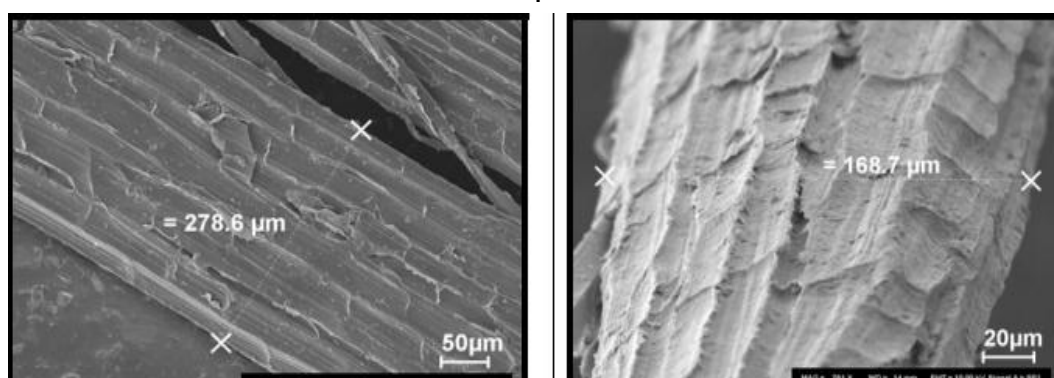


Figura 18 - Superfície longitudinal da fibra de juta (FAGURY, R. V. G., 2005)

Quando da análise das seções transversais observou ainda FAGURY, 2005, que enquanto as fibras de açaí e de juta apresentavam uma seção elíptica, a forma das de coco variavam de elíptica a circular, todas com o lúmen bem definido, conforme pode ser observado nas Figuras 19, 20 e 21 apresentadas a seguir.

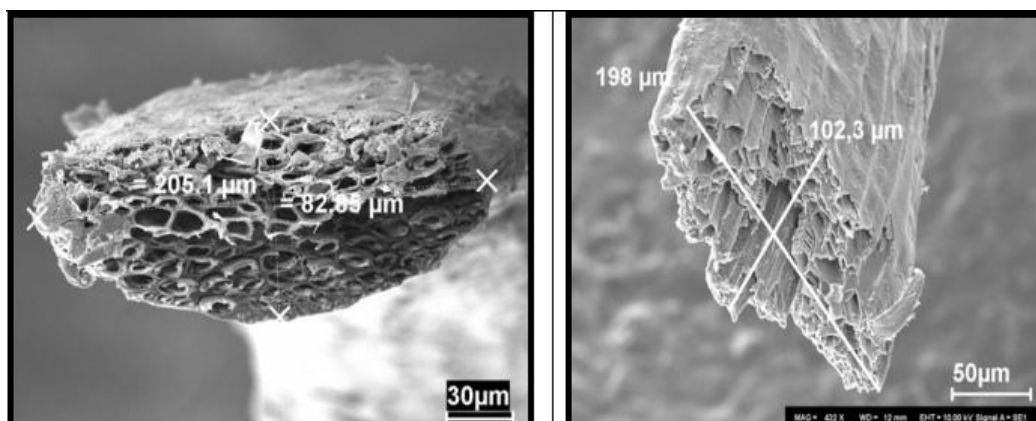


Figura 19 - Seção transversal da fibra de açaí (FAGURY, R. V. G., 2005)

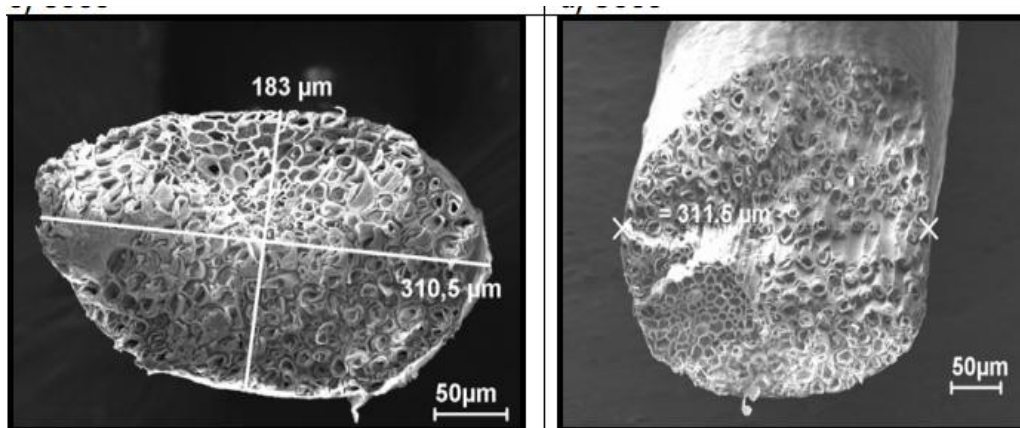


Figura 20 - Seção transversal da fibra de coco (FAGURY, R. V. G., 2005)

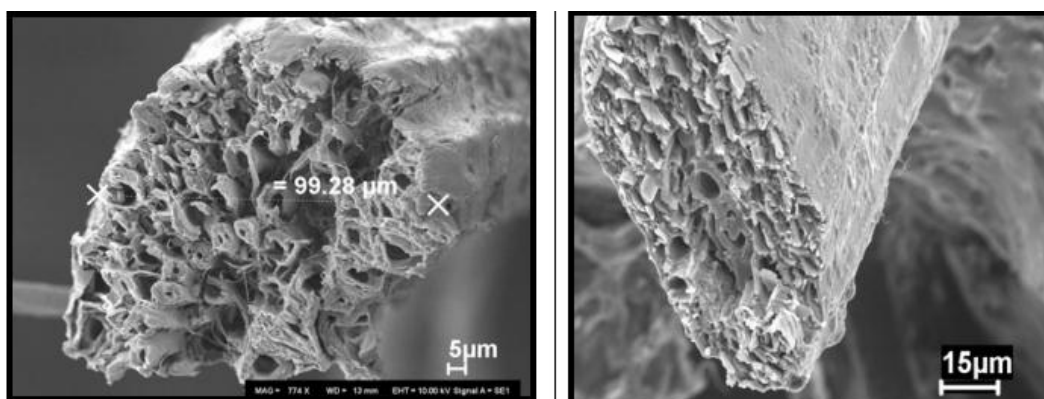


Figura 21 - Seção transversal da fibra de juta (FAGURY, R. V. G., 2005)

SHIMIZU; JORILLO JR., 1992, apud SAVASTANO JR., H., 2000, afirmaram, após análise detalhada da estrutura das fibras de coco, que cada uma delas pode conter desde 30 até mais de 200 células individuais. Registraram ainda a presença de protuberâncias na superfície lateral da fibra, com diâmetro de $8\mu\text{m}$ a $15\mu\text{m}$, que podem melhorar a aderência das mesmas com matrizes frágeis.

AGOPYAN et al., 2005, apud SILVA, M. G. S, 2010 também indicaram em seus estudos que o formato cilíndrico com pontuações superficiais das fibras auxiliam da ancoragem da fibra na matriz. Observaram ainda que as mesmas apresentam maior resistência ao ataque

alcalino em função de sua estrutura externa ser coberta por uma camada com baixa permeabilidade.

FAGURY, 2005, analisando ainda as seções transversais das fibras estudadas, observou (Figuras 22, 23 e 24), as paredes internas e determinou o diâmetro do lúmen de cada uma. As fibras de açaí e coco apresentaram paredes internas mais finas em relação as fibras de juta e os diâmetros dos lúmens foram da ordem de 19,65, 12,35 e 16,25 μm , respectivamente.

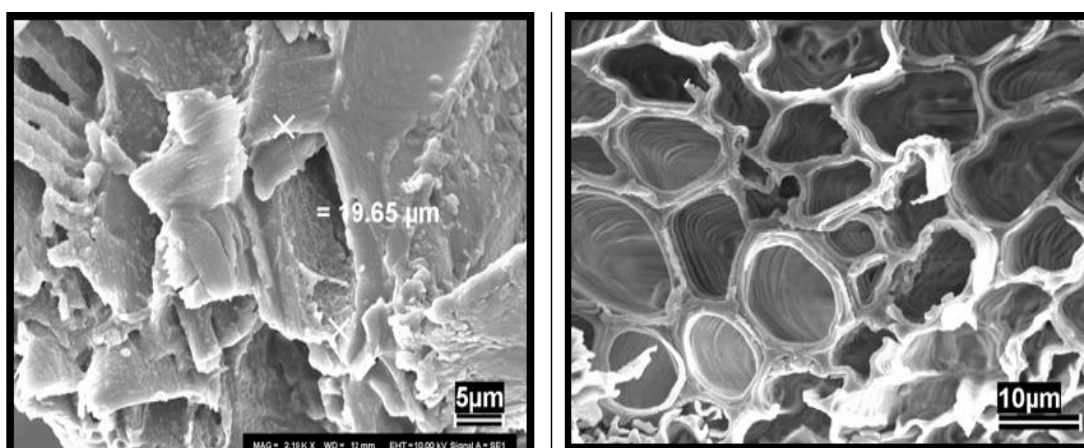


Figura 22 - Estrutura interna da fibra de açaí (FAGURY, R. V. G., 2005)

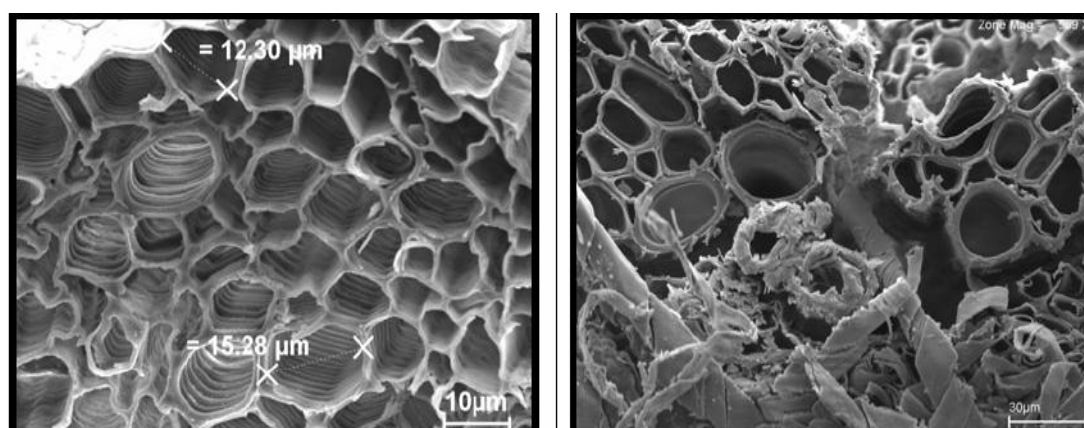


Figura 23 - Estrutura interna da fibra de coco (FAGURY, R. V. G., 2005)

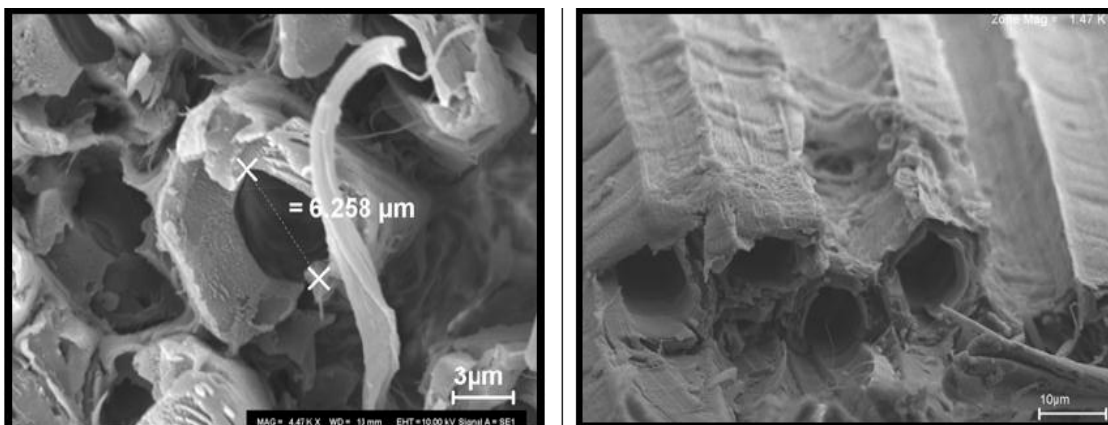


Figura 24 - Estrutura interna da fibra de juta (FAGURY, R. V. G., 2005)

2.2.1.2 A Fibra do coco seco

2.2.1.2.1 A cultura do coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera*) é um membro da família *Arecaceae* (família das palmeiras), sendo a única espécie classificada no gênero *Cocos*. É uma árvore perene que pode crescer até 30 m de altura, com folhas pinadas de 4-6 m de comprimento, com pinas de 60-90 cm. As folhas caem completamente, deixando o tronco liso.

A cultura do coco, típica de clima tropical, é bastante difundida em todo o território nacional, exceto na região sul, e notadamente na região nordeste, que detinha, em 2001, 71,2 % da produção brasileira, que atingiu, no referido ano, a 1,3 bilhões de frutos.

O gênero *Cocos* é constituído apenas pela espécie *Cocos nucifera* L., a qual é composta de algumas variedades, entre as quais as mais importantes são: *Typica* (var. gigante) e *Nana* (var. anã). Os híbridos de coqueiro mais utilizados são resultantes dos cruzamentos entre essas variedades. Atualmente segundo o Sindicato dos Produtores de Coco (SINDCOCO), em torno de 70, 20 e 10% dos plantios de coqueiro no país, são formados pelas cultivares gigante, anão e híbrido, respectivamente.

O coqueiro anão constitui-se na variedade de coqueiro mais utilizada comercialmente no Brasil para produção do coco verde. A água do fruto, que apresenta qualidade sensorial bem superior a dos demais cultivares, é consumida in natura e constitui-se no maior emprego do produto, embora o mesmo, quando seco, possa também ser empregado na agroindústria de alimentos.

Os coqueiros híbridos e o gigante são os cultivares mais utilizados para produção e comercialização do coco seco. A produção de coco seco no Brasil, concentra-se na região litorânea do Nordeste, cultivado de forma extensiva e/ou semi-extensiva, sendo o fruto comercializado in natura ou vendido para indústrias de alimentos que produzem o leite de coco e/ou coco ralado como principais produtos. A demanda de matéria-prima por parte das indústrias processadoras, para atender o mercado interno, é de aproximadamente 26.000 toneladas/ano de coco seco ralado (desidratado).(CUENCA, 1997).

As várias camadas que constituem o fruto do coco são: epicarpo parte mais externa lisa e fina, o mesocarpo localizado abaixo do epicarpo de onde são extraídas as fibras, mais internamente o endocarpo e a castanha, chamada de albúmen sólido, que é a parte do fruto de maior valor comercial, e o albúmen líquido conhecido como água de coco. Essas camadas podem ser observadas na Figura 25 a seguir.

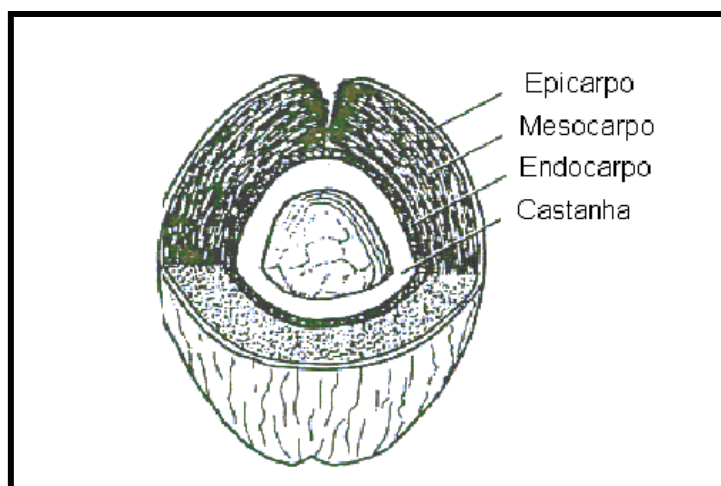


Figura 25 - Camadas que formam o coco: epicarpo, mesocarpo, endocarpo e a castanha.

A demanda de matéria-prima por parte das indústrias processadoras, para atender o mercado interno, é de aproximadamente 26.000 toneladas/ano de coco seco ralado (desidratado). (CUENCA, 1997).

Em termos de importância econômica e social, a cultura do coco assume posição relevante como atividade geradora de emprego e renda, empregando mão-de-obra durante todo o ano, e permitindo o consórcio com outras culturas, tais como cultivos de subsistência, e até mesmo a criação de animais, contribuindo assim, para a fixação do homem no campo (FONTENELE, 2005).

Segundo CUENCA, 1997, a cocoicultura, no Brasil, gera emprego direto e renda para mais de 500 mil pessoas envolvidas no processo, além dos inúmeros empregos indiretos gerados ao longo de toda a cadeia produtiva, nos setores secundário e terciário da economia (comércio, transportes, indústria de alimentos, insumos, têxtil, máquinas e equipamentos, embalagens, etc.). Na formação do Valor Bruto da Produção Agrícola (VBPA) do Nordeste a cultura assume significativa importância, sendo que a sua participação vem evoluindo positivamente nas últimas três décadas; de 1,77% em 1977, para 2,65% em 1989. No ano de 2000, a cocoicultura respondeu por 20% VBPA da região, caso consideradas apenas as culturas permanentes, e por 5% do valor gerado por toda agricultura nordestina (IBGE, 2002).

Em termos ambientais, o coqueiro permite a recuperação de áreas degradadas em virtude de desmatamentos e o controle dos processos erosivos nas regiões litorâneas, onde melhor se desenvolve. Não menos importante tem se mostrado o aproveitamento dos resíduos oriundos da extração da água-de-coco e da polpa. O processamento da casca de coco diminui, consideravelmente, os transtornos ambientais provocados pelo seu descarte em lixões ou aterros sanitários, além de reduzir os custos com transporte das indústrias de beneficiamento.

De acordo com FONTENELE, 2005, o processamento da casca de coco permite a obtenção de dois tipos de produtos: as fibras longas (30% da casca) e as fibras curtas ou pó da casca de coco (70% da casca). Com uma produção anual de 1,02 bilhão de toneladas de fibras a Índia lidera o comércio mundial de fibras de coco chegando a faturar U\$ 70 milhões com a exportação das mesmas.

2.2.1.2.2 Características da fibra de coco seco

2.2.1.2.2.1 Características físicas

As fibras de coco são classificadas em função do comprimento, rigidez e cor em 3 tipos de fibras (SAVASTANO JÚNIOR, 1986).

- a) fibras de fiação, que são as mais longas e mais finas, utilizadas para manufatura de fios,
- b) fibras de escovas, mais curtas e grosseiras, usadas na manufatura de escovas, e
- c) fibras de estofamento, muito curtas e aproveitadas como material de enchimento.

Vários estudos realizados contemplaram a caracterização das fibras de coco seco. Na Tabela 8 são relacionados os resultados obtidos por SAVASTANO JÚNIOR et al., 1994, SOEIRO N.S. et al., 2004, FAGURY, R.V.G, 2005 e LADCHUMANANANDASIVAM, 2009.

Tabela 8 - Características físicas das fibras de coco

PROPRIEDADES	Comprimento (mm)	Espessura (mm)	Densidade	Regain (%)
SAVASTANO JÚNIOR	95 - 118	0,3	2,8	-
SOEIRO N.S. et al.	140 - 160	-	1,2461	-
FAGURY, R.V.G	132 ± 95%	0,41 ± 0,06%	1,305	7,7 ± 1%
LADCHUMANANANDASIVAM	-	0,3	1,15 – 1,5	10 - 12

De acordo com ANSEL, M., 2009, as fibras individuais (ultimate fibers) de coco seco apresentam as propriedades apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Características físicas das fibras Individuais de coco

Comprimento (l) (mm)	Diâmetro (θ)(μ m)	Razão l / (θ)	Ângulo das microfibrilas (θ)	Densidade (Kg/cm ³)	Conteúdo Umidade (%)
0,9 – 1,2	16,2 – 19,5	64	30 - 49	11,5 – 12,5	13

Fonte: ANSEL, M. (2009)

2.2.1.2.2.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 10 são relacionados valores para as propriedades mecânicas das fibras de coco determinados por GUIMARÃES S. DA S. (1984), SAVASTANO JÚNIOR et al. (1994), SOEIRO N.S. et al. (2004), ANSEL, M. (2009) e por LADCHUMANANANDASIVAM (2009).

Tabela 10 - Propriedades mecânicas das fibras de coco

Propriedades	Resistência à Tração (Mpa)	Tenacidade (mpA)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação relativa na ruptura (%)
GUIMARÃES S. DA S.	180	-	2,8	
SAVASTANO JÚNIOR	95 - 118	-	2,8	26,9 – 51,4
SOEIRO N.S.	86,464	-	-	27
ANSEL, M.	106 - 175	92 - 152	6	15 - 40
LADCHUMANANANDA SIVAM	131 - 175	-	4 - 6	17 - 47

2.2.1.2.2.3 Morfologia

Os teores de celulose, hemicelulose, lignina e pectina das fibras de coco de acordo com ANSEL, M. (2009) e LADCHUMANANANDASIVAM (2009), são os apresentados na Tabela 6, página 38.

2.2.1.2.3 Produção e uso da fibra de coco seco

O aproveitamento da fibra do coco seco, ainda é hoje incipiente no Brasil, cerca de 40 milhões de toneladas de fibra produzidas anualmente, em que pese seu potencial de produção e de aproveitamento, constituindo-se em rejeito da atividade agrícola, quando poderia, na verdade, agregar valor à mesma, fortalecendo a cadeia produtiva do coco e possibilitando a geração de empregos no campo.

Entretanto a utilização de fibras longas e curtas (pó da casca de coco) como matéria-prima já vem se fazendo notar em vários ramos industriais. No setor automotivo, o emprego da fibra de coco na fabricação de peças como encostos de cabeça, para-sol interno, assentos e encostos de bancos e no revestimento interno de veículos já é fato concreto na montadora Daimler Chrysler, que controla as marcas Mercedes-Benz e Chrysler.

As principais características técnicas da fibra da casca de coco que lhe garante vantagens para a utilização industrial, SENHORAS (2003), são as seguintes: Inodora; resistente à umidade; amplia a difusão; não é atacada por roedores; não apodrece; não produz fungos; condutividade térmica: 0,043 a 0,045 W/mk; comportamento ao fogo: classe B2.

Segundo a Associação Brasileira da Agroindústria do Coco (ABRACOCO), a fibra de coco apresenta qualidade superior à das espumas de poliuretano, material derivado do petróleo, pelo fato de ser uma matéria-prima barata e também por reunir inúmeras outras vantagens tais como: ser ecologicamente correta; resistente; durável, com vida útil estimada em 90 anos, quando manufaturada; ótima aeração, ou seja, facilita a circulação do ar; isenta de ácaros e fungos, pois o tanino presente na fibra faz vezes de acaricida e fungicida naturais; biodegradável.

Em meados de 2002, foram iniciados contatos entre os governos indiano e brasileiro visando concretizar um acordo de transferência da tecnologia indiana na produção de artigos à base de fibra de coco. Os produtos são

biodegradáveis e servem tanto para a confecção de utensílios domésticos quanto para a fabricação de artefatos para a construção civil. (SENHORAS, 2002).

2.3 Compósitos

Um compósito é o resultado da combinação de dois ou mais materiais diferentes, ou formas diferentes do mesmo material, que permanecem distintos e separados por uma interface.

Segundo CALISTER (2002) pode-se considerar um compósito, de uma forma geral, como sendo qualquer material multifásico que apresente uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases que o constituem, de tal maneira que é obtida uma melhor combinação de propriedades.

Geralmente os compósitos são formados por apenas duas fases. Uma denominada matriz, que é contínua e envolve a outra, chamada normalmente de fase dispersa, que serve como reforço para a primeira. O material resultante, compósito, possui propriedades que não são obtidas isoladamente pelos materiais constituintes, matriz e reforço.

Em função do material utilizado com reforço os materiais compósitos podem ser divididos em três grandes grupos: os compósitos reforçados com partículas; os compósitos reforçados com fibras e os compósitos estruturais, conforme apresentado na figura 26.

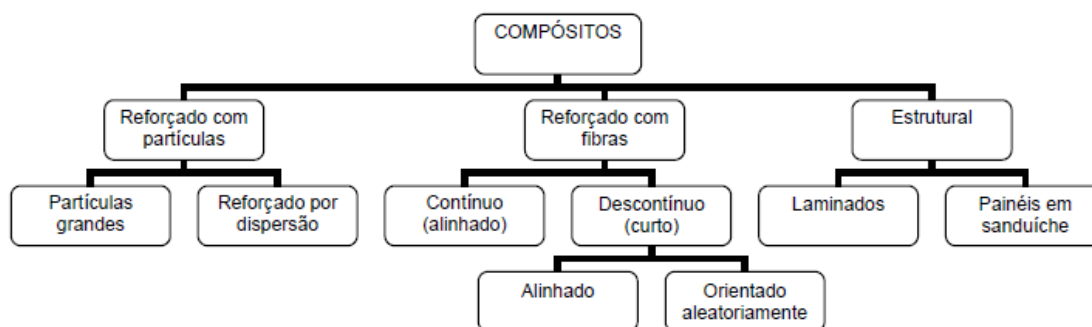


Figura 26 - Classificação dos compósitos segundo o material de reforço (CALISTER, 2002)

Na maioria dos compósitos estudados utilizando o gesso como matriz foram utilizados materiais fibrosos ou particulados como reforço, objetivando uma melhoria das suas propriedades mecânicas, conforme apresentado no item 2.3.1.

Por sua vez, vários estudos foram realizados empregando fibras de coco como reforço de matrizes à base de cimento, para aumento da ductilidade, conforme apresentado no item 2.3.2.

De acordo com a classificação apresentada, a forma do compósito estudado nesse trabalho assemelha-se aos que são denominados como estruturais, sob a forma de painel em sanduíche, sendo que as faces que constituem a matriz, o gesso, apresentam espessura superior ao recheio, manta de fibra de coco seco.

2.3.1 Compósitos à base de gesso

Várias pesquisas vêm sendo realizadas nos últimos anos com utilização do gesso como matriz para a produção de compósitos incorporando materiais fibrosos ou particulados. A inclusão desses materiais na matriz frágil de gesso endurecido traz como principal resultado uma melhoria das suas propriedades mecânicas, resistência ao impacto e à tração na flexão, modificando a ruptura frágil do gesso em uma ruptura quase plástica (AGOPYAN, V. et al., 1991).

Como a matriz gesso não se constitui em meio alcalino, diferentemente do cimento e da cal, diversas são as possibilidades de utilização de fibras têxteis como reforço. Dentre os materiais fibrosos utilizados podem ser citadas as fibras de vidro, de sisal, de algodão, de coco e juta entre outras. Quanto aos materiais particulados experimentos foram realizados com madeira, poliestireno expandido triturado, pó da fibra de coco, vermiculita e resíduos de etileno acetato de vinila (EVA).

Compósito à base de gesso reforçado com fibras de vidro tipo E foi utilizado para desenvolvimento de painéis para utilização em vedações verticais internas de edificações (OLIVEIRA, C.T.A, et al., 1996). Os resultados demonstraram a viabilidade técnica dos compósitos para o uso pretendido tendo os mesmos apresentados, propriedades superiores à do gesso. O desempenho deste tipo de painel é satisfatório e tem custos compatíveis com a alvenaria de blocos quando computadas as despesas de revestimento, limpeza de entulho e demora dos serviços.

A influência do percentual de vermiculita na densidade e resistência à flexão de um compósito gesso-vermiculita foi determinada por VERBEEK E DU PLESSIS, 2005. Foi constatado um aumento nos valores dessas propriedades com o incremento do percentual de fibras.

BEKHATA. P, et al., 2005, estudaram a influência do teor de partículas de madeira, na densidade e nas propriedades térmicas de compósitos à base de gesso. A densidade variou de 850 Kg/m³ a 1350 Kg/m³ para as placas prensadas com teores de partículas de 0% a 35%. Os valores da condutividade térmica variaram, por sua vez, de 0,189 W/m.K a 0,753 W/m.K.

SOUZA, L.M., et al., 2006, realizaram estudo sobre a viabilidade técnica e econômica de compósito constituído por gesso e EPS (poliestireno expandido) triturado. Os compósitos apresentaram valores da

condutividade térmica inferiores ao do material gesso e resistência à compressão da ordem de 2,50 MPa.

Compósitos à base de gesso com a incorporação de vermiculita e resíduos da indústria de calçados (EVA) foram estudados por Oliveira, M.P., 2009. Os compósitos foram desenvolvidos com o propósito da produção de elementos de revestimento para proteção térmica de alvenarias. Ficou demonstrado nesse trabalho que os compósitos (placas) reduzem a carga térmica incidente sobre as alvenarias.

As propriedades mecânicas de compósito constituído de gesso e fibras do caule do algodoeiro também foram objeto de estudos OLIVEIRA, M. P., 2009, apud GUOZHONG LI et al., 2003. Para melhorar a aderência com a matriz de gesso - com adições de cal cimento Portland e escória - as fibras foram tratadas com uma emulsão de estireno acrílico. Os resultados apontaram que o tratamento das fibras ocasionou uma diminuição do módulo de elasticidade dos compósitos, em relação a compósitos semelhantes com fibras não tratadas, o que pode ter sido provocado pela formação de uma camada deformável na interface matriz-fibra.

SILVA, M.G.S., 2010, desenvolveu compósito utilizando o pó residual do beneficiamento da fibra de coco como carga na matriz gesso, objetivando obter melhores propriedades frente às patologias do gesso. Os resultados obtidos apontaram uma melhoria no módulo de elasticidade, bem como um incremento na tensão média à flexão.

Um compósito gesso-polímero, utilizando o monômero estireno foi estudado por Macieira R. P. (2011) objetivando a utilização como revestimento externo. Os valores obtidos para a resistência de tração na flexão, máximo de 9,89 MPa, de resistência a compressão (24,80 MPa) e da absorção de água, mínimo de 1,03%, mostraram-se superiores àqueles relativos ao material gesso, comprovando a viabilidade da utilização do compósito.

2.3.2 Compósitos de matrizes cimentícias reforçados com fibras de coco

Inúmeros estudos vem sendo realizadas nos últimos anos no País sobre o aproveitamento da fibra de coco, verde ou seco, para utilização como reforço na produção de compósitos de matrizes frágeis.

A durabilidade das fibras de coco quando usadas em compósitos com matriz de cimento foi estudada por SAVASTANO JÚNIOR, 1986. A resistência à tração e o alongamento da fibra de coco foram analisados nas seguintes situações: fibra em seu estado natural seco; imersa em meio alcalino (solução de hidróxido de sódio com PH = 11) por 7 e 28 dias e retirada de uma peça de concreto com 6 meses de idade. Os resultados mostraram uma queda de tensão de apenas 5% para as fibras imersas em meio alcalino e de somente 1,5% para a retirada da peça de concreto. Os ensaios também demonstraram um comportamento bem superior das fibras de coco em relação as fibras de juta que foram submetidas aos mesmos ensaios.

AGOPYAN, V., 1991 e SAVASTANO JÚNIOR, et al., 1997, relataram diversas experiências realizadas no Brasil sobre a utilização de fibras vegetais, inclusive a de coco seco, como reforço de matrizes cimentícias para a fabricação de componentes construtivos, como telhas, painéis de vedação vertical e caixas d'água, entre outros.

Compósito à base de cimento reforçados com fibras de coco foi utilizado para desenvolvimento de material de acabamento destinado a absorção acústica foi estudado por SILVA, A.M.P., et al., 1997. Os resultados das medições efetuadas demonstraram a viabilidade técnica dos compósitos para o uso pretendido.

SAVASTANO, H.J, et al., 2000, estudaram as características e potencialidades de utilização de diversas fibras vegetais, entre elas a de coco, como reforço de matrizes à base de cimento, para aumento da ductilidade. As telhas fabricadas a partir desses compósitos, com exceção daquelas com uso

de fibra de sisal, bucha do campo, (capacidade de carga inferior a 680N) e de banana (empenamento superior a 3mm), resistiram a cargas na flexão compatíveis com as especificações internacionais.

As principais características físicas, químicas e mecânicas da fibra de coco e a resistência à compressão dos compósitos produzidos utilizando as mesmas como reforço de matrizes de cimento Portland, em diferentes formulações, foram estudadas por ESCARIZ, R.C., 2008. Os ensaios apontaram que para os compósitos com matriz de traço 1:1 (cimento/fibra) ocorreu uma redução da resistência à compressão com a adição de fibras, enquanto que para as matrizes de traço 1:2 ocorreu um aumento. Os valores obtidos para os módulos de elasticidade sob compressão indicaram, por sua vez, uma redução da rigidez com a incorporação de fibras.

2.4 Propriedades térmicas

Entende-se por “propriedade térmica” a resposta de um material à aplicação de calor. As propriedades térmicas que foram analisadas neste trabalho são a condutividade térmica, a capacidade calorífica e a difusividade térmica, propriedades essas que possibilitam avaliar o desempenho térmico de um material.

2.4.1 Condutividade térmica

A “**condução térmica**” é o fenômeno segundo o qual o calor é transportado de acordo com o gradiente de temperatura, sempre das regiões de temperaturas mais altas para as de mais baixas. A “condutividade térmica” é a propriedade que caracteriza esse fenômeno, ou seja, essa habilidade de um material em transferir calor. Essa habilidade pode ser expressa pela equação:

$$q = -K \frac{dt}{dx} \quad 2.1$$

Onde:

q = fluxo de calor por unidade de tempo, por unidade de área (w/m^2);

K = condutividade térmica ($W/m.K$);

dt/dx = gradiente de temperatura (K/m).

O valor numérico da condutividade pode ser alterado devido a vários fatores entre os quais podem ser citados: composição química, conteúdo de matéria fluida, estrutura física, estado, densidade, temperatura, umidade, emissividade da superfície, pressão, dimensão e localização dos poros.

Quando se pretende minimizar as perdas de calor, é exigido um material que possua baixos valores de condutividade térmica. Esse material é definido como um bom isolante térmico. Por outro lado, quando se deseja que grandes quantidades de calor sejam transferidas entre dois meios, se aplicam materiais com condutividade térmica alta. Estes são os bons condutores de calor. O valor ideal da condutividade térmica está diretamente relacionado com a natureza de sua aplicação.

2.4.2 Capacidade calorífica

A **capacidade calorífica (C)** é uma propriedade que serve como indicativo da habilidade de um material para absorver calor de sua vizinhança externa; ela representa a quantidade de energia exigida para produzir um aumento unitário de temperatura (CALLISTER, 2002). A capacidade calorífica, em termos matemáticos, pode ser expressa da seguinte forma:

$$C = dQ / dT \quad (\text{cal/mol.K}) \quad (2.2)$$

Onde dQ representa a energia exigida para produzir um aumento de temperatura ordem de dt .

O **calor específico (c)** representa, por sua vez, a capacidade calorífica por unidade de massa, ou seja, a quantidade de energia térmica necessária

para produzir um aumento unitário de temperatura por unidade de massa. Normalmente é expresso nas unidades (J/Kg.K) e (cal/g.K).

2.4.3 Difusividade térmica

A **difusividade térmica (α)** é uma medida da rapidez com a qual o calor se propaga através de um material. A difusividade térmica mede a relação entre a capacidade de o material conduzir energia térmica e a sua capacidade em acumular a mesma.

Materiais com difusividade grande respondem rapidamente às variações do ambiente térmico, em outras palavras, uma alta difusividade implica em um aquecimento mais rápido e uma homogeneização do gradiente de temperatura sob o material também mais rápido, quando comparado a um corpo com baixa difusividade.

A difusividade pode ser quantificada através da relação das propriedades térmicas já mencionadas. Assim a difusividade é dada pela razão da condutividade e da capacidade calorífica

$$\alpha = k / c_p \cdot \rho \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (2.3)$$

Onde:

K = condutividade térmica (W/m.K);

ρ = massa específica (Kg/m³);

c_p = calor específico (J/Kg.K)

2.5 Propriedades acústicas

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície uma certa quantidade da energia sonora é refletida, enquanto que a outra, que desaparece atrás da superfície, é composta por duas parcelas: a energia sonora absorvida pela superfície e a energia transmitida pela superfície (BISTAFA, S. R., 2006).

Pode-se conceituar Tratamento Acústico como o conjunto de operações destinados a atenuar o nível de energia sonora entre a fonte geradora e o ouvinte ou sensitivo. Esse objetivo pode ser atingido através de três procedimentos (SILVA, P., 2005):

- a. Isolamento atenuador;
- b. Tratamento absorvente;
- c. Os dois combinados.

O que se objetiva neste capítulo é realizar uma avaliação comparativa, em termos de absorção sonora, entre o material compósito, gesso e manta de fibra de coco seco, e o material da matriz, gesso, bem como da influência da espessura da manta nesse parâmetro.

2.5.1 Absorção sonora

Pode-se definir um material como acústico absorvente quando grande parte da energia sonora que nele incide é absorvida pelo mesmo, degradando-se em energia térmica.

Os materiais fibrosos (lã de vidro, lã de rocha, etc.) e os porosos (espumas de poliuretano, ou outras semelhantes), são os materiais tipicamente utilizados para absorver o som. A absorção sonora se dá, nesses materiais, fundamentalmente pela dissipação da energia sonora por atrito, em função do movimento das moléculas de ar no interior do material quando da passagem da onda sonora (BISTAFA, S. R., 2006).

Segundo BISTAFA, 2006, a mensuração da capacidade de uma superfície em absorver o som, que é função da frequência do som incidente, é dada pelo coeficiente de absorção sonora (α), definido através da seguinte expressão:

$$\alpha = I_{\text{absorvida}} / I_{\text{incidente}} = (I_{\text{incidente}} - I_{\text{refletida}}) / I_{\text{incidente}} \quad (2.4)$$

onde:

$I_{\text{absorvida}}$ = Intensidade sonora absorvida, ou seja, energia sonora absorvida por unidade de tempo (potência sonora), e por unidade de área;

$I_{\text{incidente}}$ = Intensidade sonora do som incidente; e

$I_{\text{refletida}}$ = Intensidade sonora do som refletido.

Ainda de acordo com BISTAFA, 2006, para os materiais fibrosos e porosos os valores do coeficiente de absorção sonora aumentam em função da espessura e da densidade.

Capítulo 3

Materiais e Métodos

3.1 Matérias-primas

3.1.1 Materiais

Para a realização deste trabalho foram utilizadas como matérias primas:

- a) fibra de coco seco proveniente de propriedade rural localizada no Distrito de Santa Luzia, Município de Touros/RN, e
- b) o gesso para fundição de fabricação da INGEL – Indústria Gesso Ltda.

3.1.2 Caracterização das matérias-primas

3.1.2.1 Gesso

3.1.2.1.1 Análise granulométrica

A distribuição granulométrica do gesso foi realizada no Laboratório de Materiais Cerâmicos e Metais Especiais (LMCME) do Departamento de Física do CCET/UFRN, utilizando o equipamento CILAS 920 Líquido (Faixa: 0,30 μ m–400,00 μ m/ 30 Classes).

3.1.2.1.2 Análise mineralógica

Para realizar a análise mineralógica do material por difração de raios X foi utilizado equipamento do tipo XRD-6000, marca SHIMADZU, com varredura de 5° a 90° com um step time de 0,02°, do Laboratório de Termodinâmica e Reatores do Departamento de Engenharia Química do CT/UFRN.

3.1.2.2 Fibra de coco seco

3.1.2.2.1 Obtenção da fibra de coco seco

Após o processo de descascamento manual do coco seco para aproveitamento da castanha, a sua casca ou bucha, constituída pelo mesocarpo e epicarpo, foi trazida do campo e desfibrada na empresa AQUACOCO – DD GASPAR ME, localizada no município de Extremoz/RN, com utilização de equipamento desenvolvido pela mesma. O referido equipamento é utilizado pela empresa, que se dedica ao envasamento e comércio da água do coco verde, para promover o desfibramento das cascas dos mesmos que são posteriormente utilizadas para fabricação de briquetes, conforme pode ser observado na Figura 27.



Figura 27 – Desfibradora

3.1.2.2 Tratamento da fibra de coco seco

A fibra longa de coco seco obtida foi trazida para o laboratório e espalhada sobre uma mesa. Foi então submetida a um processo de cardagem manual com o objetivo de promover a remoção das impurezas visíveis, decorrentes do processo de desfibramento (Figuras 28 e 29).



Figura 28 - Fibra de coco seco sem tratamento



Figura 29 - Cardagem manual da fibra de coco seco

Após a operação inicial de cardagem a fibra foi então imersa em uma solução de água com 4% de hidróxido de sódio, por uma hora, objetivando a realização de limpeza para retirada de ceras, gorduras e impurezas superficiais, o que irá proporcionar uma melhor aderência a matriz, Figura 30.



Figura 30 - Fibra de molho em solução de hidróxido de sódio

Transcorrido o período de uma hora a fibra foi lavada, em operações repetidas, com água corrente até ser obtido um pH neutro, da ordem de 7. Atingido o patamar desejável para o pH o material foi espalhado sobre uma bancada, abrigado das intempéries para que ocorresse uma secagem ao tempo.

Após a secagem das fibras foi realizada uma nova operação de cardagem, com retirada dos resíduos ainda permanentes, que se tornaram mais visíveis após o tratamento, notadamente daqueles inerentes a parte mais externa da casca de coco, ou seja, do epicarpo (Figura 31).

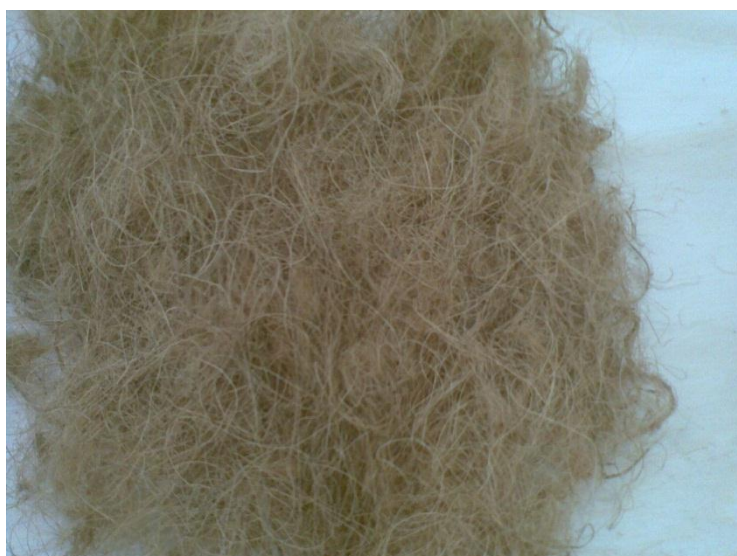


Figura 31 - Aspecto das fibras após o tratamento

3.1.2.2.3 Propriedades físicas da fibra de coco seco

3.1.2.2.3.1 Comprimento médio e título da fibra bruta

Os ensaios para determinação do comprimento médio e título das fibras foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis (LABCTEX) do Departamento de Engenharia Têxtil do Centro de Tecnologia da UFRN, em observância aos ditames das Normas NBR 13154 e NBR 13214, respectivamente.

Para realização do ensaio foram separadas, aleatoriamente, 10 fibras da espécie em estudo. As fibras foram então medidas e pesadas individualmente. A determinação do comprimento de cada fibra foi realizada com auxílio de um escalímetro, enquanto a respectiva pesagem foi realizada em uma balança analítica com precisão de 0,01 mg, de fabricação SHIMADZU.

3.1.2.2.3.2 Espessura

A determinação da espessura da fibra foi realizada no LABCTEX em observância à norma NBR 13371 (Determinação da espessura).

Foram separadas, aleatoriamente, 10 amostras (fibras) e realizadas medições da espessura em cinco pontos de cada uma, utilizando-se, para tanto, um medidor de espessura de fabricação MITUTOYO.

3.1.2.2.3.3 Densidade

Para a determinação da densidade da fibra de coco, foi utilizado um picnômetro com volume de 50 ml. Foram determinados o peso seco do picnômetro e do mesmo com água. Em seguida a fibra foi condicionada no ambiente de 25 °C e 65% de umidade relativa e secada por 2 horas numa estufa, em temperatura de 105 °C, e transferida para um dessecador por 15 minutos. A fibra seca foi então pesada e colocada no picnômetro e completou-

se com água destilada. O peso do picnômetro com água e a fibra foi anotado. Para o cálculo da densidade da fibra a seguinte expressão foi utilizada:

$$d = \frac{p}{v} \quad (3.1)$$

Onde:

d = densidade da fibra

p = peso da fibra

v = volume da fibra

3.1.2.2.3.4 Regain %

A determinação da absorção (regain %) da fibra foi realizada no LABQUITEX observando os procedimentos descritos no Journal of the Textile Institute Proceedings (1940A).

Foram selecionadas e colocadas em placas petri 03 (três) amostras pesando, respectivamente 1, 2 e 3 gramas. Após um período de 12 horas, condicionadas no ambiente de $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $65\% \pm 2\%$ de umidade relativa, as amostras foram pesadas (peso úmido) e, em sequência, secadas por 2 horas numa estufa, em temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ e transferidas para um dessecador por 15 minutos. Após esse tempo, as amostras foram então retiradas do dessecador e novamente pesadas (peso seco). O índice regain% de cada amostra foi calculado pela expressão:

$$\text{REGAIN \%} = \frac{P_u - P_s}{P_s} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

P_u = Peso úmido da amostra (g);

P_s = Peso seco da amostra (g)

3.1.2.2.3.5 Resistência à tração

Os ensaios para determinação da resistência à tração das fibras de coco seco em estado bruto, foram realizados no Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis (LABCTEX), em observância às prescrições da norma NBR 13385.

Foram ensaiadas 10 amostras (fibras), previamente medidas e pesadas para determinação do título, utilizando-se um dinamômetro, fabricação MESDAN LAB (Figura 30). Foi utilizada uma distância entre as garras da ordem de 10 cm, uma célula de carga de 100N e uma velocidade de 100 mm/min.

3.2 Preparação das amostras

3.2.1 Preparação da manta de fibra de coco seco

As mantas foram confeccionadas no equipamento denominado “confeccionador de manta” construído no Laboratório de Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). O confeccionador de manta consta de quatro elementos básicos: Tanque de vidro, suporte para transporte, prancha para moldagem (superior e inferior) e torneira para escoamento, conforme pode ser observado na Figura 32.



Figura 32 - Confeccionador de manta

Para determinar a quantidade de fibra de coco, em peso, necessária para resultar em mantas com as espessuras desejadas de 8 e 10 mm, procedeu-se uma analogia com experimentos realizados para confecção de mantas de fibra de abacaxi, considerando-se uma densidade semelhante para os dois tipos de fibra. Dessa forma, para confecção das mantas com 8 e 10mm foram utilizados 228 e 285 gramas de fibra de coco, respectivamente.

Iniciou-se o processo de confecção da manta enchendo tanque com água e distribuindo as fibras, manualmente, da maneira mais uniforme possível, conforme Figura 33.

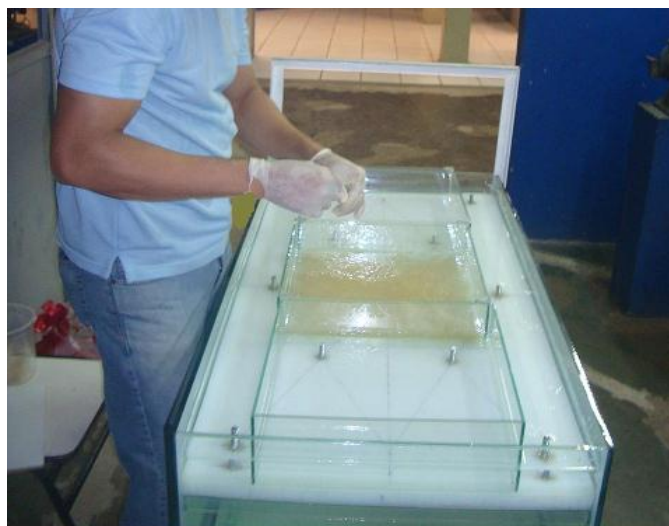


Figura 33 - Distribuição manual das fibras

Após a distribuição do total de fibras, observou-se que as mesmas se entrelaçavam à medida que se depositavam no fundo do tanque, conforme pode ser observado na Figura 34, formando, dessa forma, a manta desejada.

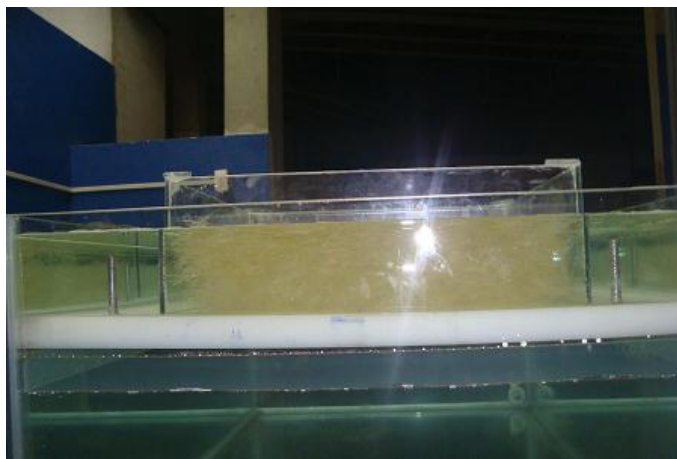


Figura 34 - Processo de formação da Manta

Finalizada a distribuição de toda a fibra, promoveu-se o processo de drenagem, abrindo-se a torneira para escoamento de toda a água, obtendo-se assim a decantação total das fibras na prancha de moldagem inferior do confeccionador de mantas.

Ao fim da operação de drenagem, colocou-se a prancha superior do confeccionado de mantas, fixando-a através dos parafusos guias. Após retiradas, as pranchas de moldagem, com a manta contida entre as mesmas, foram expostas ao ar livre por três dias num processo natural de secagem, após o qual obteve-se a manta desejada para os experimento a serem realizados, como mostra a Figura 35.



Figura 35 - Aspecto da manta de fibra de coco seco

As mantas foram confeccionadas na dimensão de 1,00m X 0,50 metros, obtendo-se como pesos finais 223,40g e 279,30 gramas, para as espessuras de 8 mm e 10 mm.

As medidas de espessura efetuadas em 4 pontos (aleatórios) da manta de 8mm (7,6; 8,5; 8,5 e 8mm), demonstrou uma pequena variação na espessura planejada para a mesma, o que decorreu do processo artesanal de sua confecção. Variações da mesma ordem também foram observadas para a manta de 10 mm.

3.2.2 Preparação do gesso

O gesso foi misturado com água observando-se uma relação em massa, água-gesso da ordem de 1:1. Essa relação é um pouco superior a usualmente recomendada pelos fabricantes para moldagem de peças, da ordem de 0,75 a 0,80, e foi utilizada como forma de possibilitar uma melhor mistura na manta e consequente aderência com as fibras.

3.2.3 Preparação dos compósitos

Como visto anteriormente o material em estudo é um compósito, constituído por matriz de gesso reforçada com mantas de fibras de coco seco. O compósito tem uma forma de sanduiche, sendo composto por três camadas. A camada interna é constituída pela manta e as externas pelo de gesso, conforme figura abaixo, Figura 36 a seguir.



Figura 36 - Camadas do compósito

Como forma de possibilitar uma melhor avaliação das propriedades físicas do compósito foram utilizadas mantas de fibras de coco com espessuras de 8 e 10 mm, com o objetivo de manter a espessura final do compósito como sendo da ordem de 24 mm, espessura usual das placas de gesso utilizadas pela indústria da construção civil para confecção de forros. As espessuras adotadas para as mantas representam um porcentual de fibras da ordem de 30% e 40%, respectivamente, do volume total do compósito.

Os compósitos foram confeccionados sobre uma bancada de madeira forrada com lona plástica. Para determinação das dimensões das mesmas

foram utilizadas régulas de alumínio, conforme pode ser observado na Figura 37. As medidas adotadas para cada placa foram de 500 X 500 x 24 mm. Para cada tipo de placa foram confeccionadas duas unidades de maneira a possibilitar a obtenção do número de amostras necessárias para a realização dos ensaios.



Figura 37 - Montagem de molde para confecção placas

Em consonância com os objetivos estabelecidos, “realizar uma avaliação comparativa entre as propriedades da placa constituída apenas pelo material da matriz, ou seja, o gesso, e o compósito gesso manta de fibra de coco seco, bem como avaliar a influência da espessura da manta nas referidas propriedades”, foram confeccionadas três tipos de placas:

- **SF** – Placa sem manta de fibra de coco;
- **CF1** - Compósito com manta de fibra de coco com espessura de 8 mm;
- **CF2** - Compósito com manta de fibra de coco com espessura de 10 mm.

O gesso utilizado para a fabricação das placas foi o “gesso INGEL para fundição” e as mantas de fibras de coco foram aquelas confeccionadas no Laboratório de Mecânica do IFRN, conforme descrito no capítulo 3, item 3.2.1.

O processo de fabricação dos compósitos seguiu os seguintes passos:

- a. Colocação da primeira camada de gesso, Figura 38 a seguir;
- b. Colocação da manta sobre a camada de gesso, Figura 39;
- c. Colocação e espalhamento da segunda camada de gesso sobre a manta, Figuras 40 e 41.



Figura 38 - Colocação da 1ª camada de gesso



Figura 39 - Colocação da manta



Figura 40 - Colocação da 2ª camada de gesso

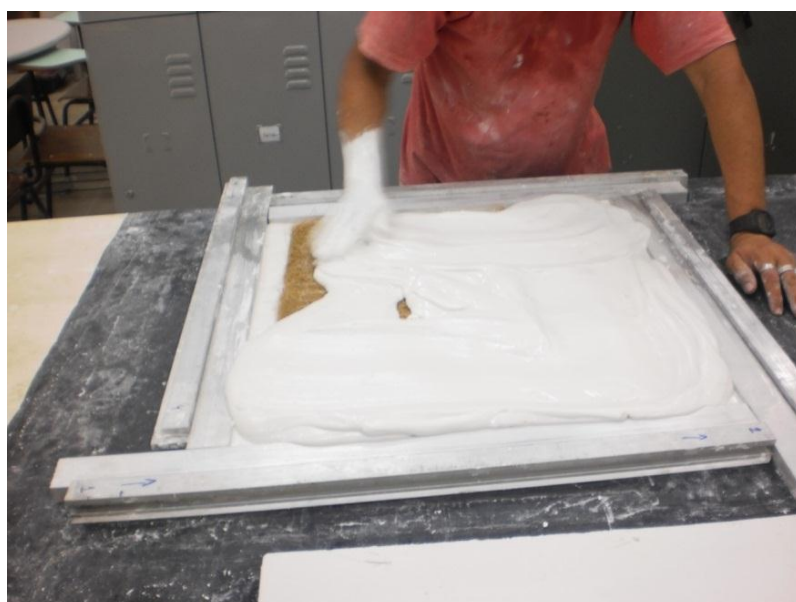


Figura 41 - Espalhamento do gesso da 2ª camada

3.2.4 Preparação de amostras para os ensaios

As amostras foram obtidas através de um processo de corte das placas, utilizando-se para tanto uma serra elétrica circular, nas formas e dimensões determinadas pelas normas para cada um dos ensaios que seriam realizados. Após o corte, para evitar que ocorresse arrancamento das fibras durante o manuseio das peças, foi realizado o acabamento final das amostras, Figura 42.



Figura 42 - Corte das amostras

3.3 Caracterização dos compósitos

3.3.1 Caracterização física

3.3.1.1 Massa específica

A determinação da massa específica dos compósitos foi realizada no Laboratório de Químico Têxtil de acordo com a Norma ASTM C 271-99.

Foram ensaiadas 03 (três) amostras, com dimensões de 50 x 50 mm, para cada tipo de compósito. As dimensões das amostras foram determinadas, em milímetro, com auxílio de um paquímetro. O peso das mesmas em gramas, por sua vez, foi determinado com utilização de balança analítica TECNAL com precisão de 0,01g.

O cálculo da massa específica foi efetuado através da seguinte expressão:

$$d = \frac{1.000.000 w}{v} \quad (3.3)$$

d = massa específica (g/cm³);

w = massa (g);

v = volume em (cm³)

3.3.1.2 Absorção

Os ensaios para determinação da absorção de água foram realizados no Laboratório de Químico Têxtil, em observância aos ditames da Norma ASTM C 272 – 01.

Foram ensaiadas 5 amostras com dimensões de 75 x 75 x 24 mm, para cada compósito. Durante o período dos ensaios a temperatura do ambiente foi controlada, com auxílio de condicionador de ar, em torno dos 25+/- 2 ° C. O ambiente também teve sua umidade relativa controlada, em torno de 65+/-2% com auxílio de um aparelho umidificador.

As amostras foram pesadas numa balança analítica, TECNAL com precisão de 0,01 g, e condicionadas na atmosfera acima citada por 24 horas antes da iniciação dos testes. Após esse período as amostras foram imersas em água, por um período de 12 horas, em beakers.

Decorrido esse tempo as amostras foram retiradas dos recipientes, suas superfícies foram enxutas e, novamente, pesadas individualmente, após o que foram novamente imersas em água.

Esse processo foi repetido 8 vezes, totalizando um tempo total de 96 horas, oportunidade em que foi observado que não estava mais ocorrendo ganho significativo de peso, ou seja, absorção de água.

O coeficiente de absorção das amostras foi calculado através da expressão:

$$c_a = [(P_u - P_s) \times 100] / P_s, \quad (3.4)$$

onde:

c_a = coeficiente de absorção (%);

P_u = Peso úmido (g); e

P_s = Peso seco (g)

3.3.2 Caracterização mecânica

3.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos

Os ensaios para caracterização mecânica em flexão dos compósitos foram realizados no Laboratório de Metais e Ensaio Mecânicos do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, observando as prescrições da norma ASTM D 790 - 10.

Foram ensaiadas 5 amostras com dimensões de 20 x 75 x 24 mm, para cada compósito, utilizando-se o equipamento AUTOGRAPH A6 – X (300KN) da SHIMADZU. Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados com célula de carga de 500 Kgf e uma velocidade de 4 mm/min. Os corpos de prova foram posicionados de forma a permitir que a carga fosse aplicada no centro dos mesmos.

A resistência à tração na flexão foi determinada através da expressão:

$$\sigma = 3P/2bd^2 \quad (3.5)$$

onde:

σ = tensão de tração na flexão (MPa);

P = carga (N);

b = largura do corpo de prova (mm);

d = altura do corpo de prova (mm).

3.3.2.2 Resistência à compressão

Os ensaios de compressão foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Primeiro buscou-se determinar as propriedades compressivas dos materiais aplicando-se uma força perpendicular ao plano de cada placa (flatwise). Para tanto observou-se as determinações das Normas ASTM C 297/ C 297M-04.

Foram ensaiadas 5 amostras com dimensões de 30 mm x 30 mm x 24 mm, para cada um dos compósitos, utilizando-se como equipamento a MÁQUINA UNIVERSAL AMSLER, com escala de 600 Kg e subdivisão de 2 Kg. A carga foi aplicada empregando-se uma taxa de movimento constante de 0,50 mm/min.

A tensão de compressão foi determinada pela expressão:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.6)$$

onde:

σ = tensão de compressão (MPa);

P = carga máxima (N);

A = área da seção reta (mm²)

Foram também determinadas as propriedades compressivas dos materiais aplicando-se uma força paralela ao plano de cada placa (edgewise). Para tanto observou-se as determinações da Norma ASTM C 364 – 99.

Da mesma forma, foram também ensaiadas 5 amostras com dimensões de 200 mm x 50 mm x 24 mm, para cada material, utilizando-se como equipamento o CONJUNTO UNIVERSAL AMSLER, com escala de 600 Kg e

subdivisão de 2 Kg. A carga foi aplicada empregando-se uma taxa de movimento constante de 0,50 mm/min.

A tensão de compressão, nesse caso, foi calculada usando a expressão:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.7)$$

onde:

σ = tensão compressiva do núcleo (em MPa);

P = carga máxima (em N);

A = área da seção reta (em mm²).

3.3.3 Caracterização térmica

A caracterização térmica objetivou realizar uma avaliação comparativa, em termos térmicos, entre o material compósito, gesso e manta de fibra de coco seco, e o material da matriz, gesso, bem como da influência da espessura da manta no desempenho térmico.

Para tanto foram então realizados dois experimentos. O primeiro, no Laboratório de Geofísica do Centro de Ciências da Terra da UFRN, objetivando a determinação das propriedades térmicas das amostras. O segundo, no Laboratório de Transferência de Calor do Núcleo de Inovação Tecnológica da UFRN (NIT/ UFRN), tendo como meta possibilitar uma avaliação do desempenho térmico das mesmas.

3.3.3.1 Determinação das propriedades térmicas

A determinação das propriedades térmicas das amostras foi realizada com utilização do equipamento da marca ANTER CORPORATION, modelo QUICKLINE TM-30 – THERMAL PROPERTIES ANALYZER, do Laboratório de Geofísica do Centro de Ciências Exatas e da Terra (CCET), observando-se as disposições da Norma ASTM D5930/09.

As medidas das propriedades térmicas com utilização do referido equipamento são baseadas na análise da resposta térmica com relação à excitação através de um fluxo térmico. Esse fluxo de calor é produzido por aquecimento elétrico de um resistor inserido no sensor que entra em contato direto com o material em análise. A avaliação e medição da Condutividade Térmica ($W.m/K$) e dos demais parâmetros – Difusividade Térmica (m^2/s), Capacidade Térmica Volumétrica (J/m^3K) e Temperatura ($^{\circ}C$) – são baseadas em amostragens periódicas da temperatura em função do tempo.

As 03 amostras (SF, CF1 e CF2) foram ensaiadas utilizando-se o sensor (8120010): 0,3 - 2 $W/m.K$. A escolha do sensor a ser utilizado é feita levando-se em consideração os valores médios da condutividade que se espera obter para as amostras, Figura 43 a seguir.



Figura 43 - Detalhe do sensor e do procedimento de medição

Não foi necessário realizar nenhum tratamento na superfície das amostras, pois as mesmas apresentavam superfície bastante regular permitindo um perfeito acoplamento entre o sensor e a superfície das mesmas. Foram realizadas, para cada amostra, medidas em 5 pontos diferentes, conforme mostrado na Figura 44.

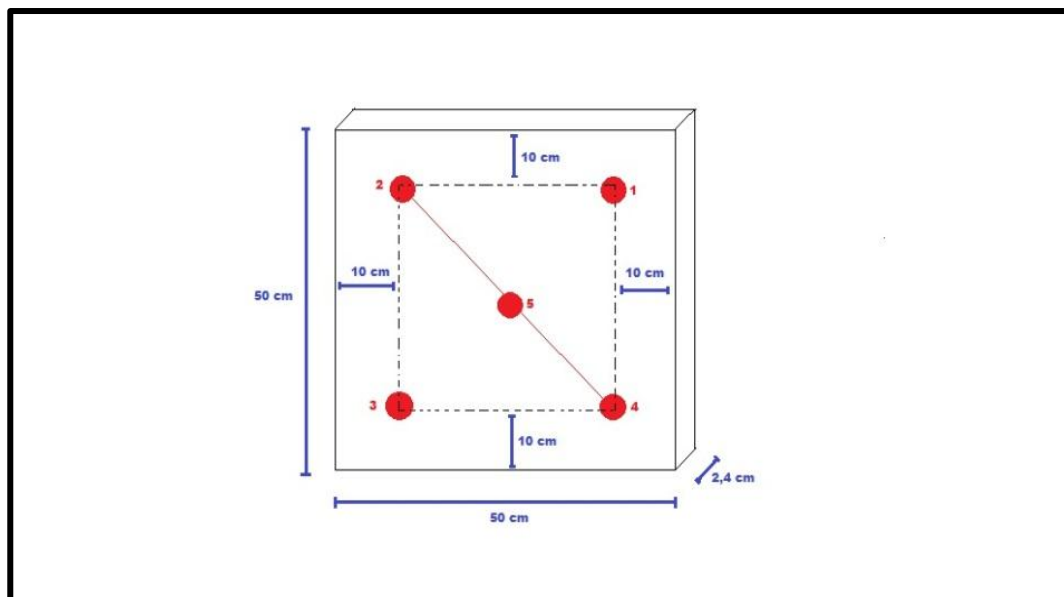


Figura 44 - Localização dos pontos de medição

3.3.3.2 Avaliação do desempenho térmico

Foi realizado outro experimento, como anteriormente visto, objetivando avaliar o desempenho térmico dos materiais, através de uma análise comparativa, utilizando, para tanto, as câmaras de testes do Laboratório de Transferência de Calor do NIT/ UFRN.

As câmaras de testes são constituídas por duas caixas construídas em madeira com dimensões de 0,50 m de altura, 0,50 m de comprimento, 0,50 m de largura e paredes com 0,05 m de espessura. Como cobertura das caixas foi utilizada uma placa de aço com espessura 6,7 mm pintada de preto fosco, com o objetivo de maximizar os efeitos da radiação térmica e distribuir igualmente o gradiente de temperatura sobre o material a ser testado, Figura 45.



Figura 45 - Câmara de teste

Para a determinação dos perfis de temperaturas das diversas placas foram utilizados termopares tipo “T” (Cobre-Constantan), operando na faixa entre -184°C e 370°C .

Para conversão dos sinais analógicos gerados pelos termopares em sinais digitais, permitindo o registro em computador, foi utilizado o Sistema de Aquisição de Dados do mesmo Laboratório. O sistema apresenta, entre outras, as seguintes vantagens: versatilidade (aceita uma vasta gama de tipos de termopares); software de fácil utilização; ajuste de tempo de amostragem e ajuste de cálculo de média de temperaturas.

Foi utilizada como fonte de radiação térmica para aquecimento das coberturas das câmaras um banco de lâmpadas incandescentes, composto por 24 lâmpadas de 200 W, totalizando 4.800 W, conforme pode ser observado na Figura 46.



Figura 446 - Fonte de radiação térmica.

Como o experimento objetivava uma comparação entre os desempenhos térmicos das diversas amostras, adotou-se a seguinte metodologia quando da realização do mesmo:

- a. Conservou-se uma das uma das caixas apenas com a cobertura de uma placa de aço com espessura 6,7 mm, pintada de preto fosco;
- b. Na segunda caixa a cobertura era constituída pela amostra a ser ensaiada e sobre a mesma era colocada a placa de aço, com características idênticas as amostras eram colocadas sobre a placa de aço, tendo-se o cuidado de promover uma adequada vedação entre as mesmas, como forma de evitar a presença de correntes de convecção que poderiam mascarar os resultados;
- c. Para fixação dos termopares utilizou-se uma mistura do adesivo “araldite” e óxido de ferro, mistura essa que por não ser condutora de eletricidade, não sofre os efeitos das temperaturas mais altas atingidas pelo sistema de medição. Um termopar foi mantido como “testemunho” para registrar as variações de temperatura no ambiente;

- d. Os termopares foram posicionados e fixados conforme detalhes apresentado nas Figuras 47, 48 e 49.

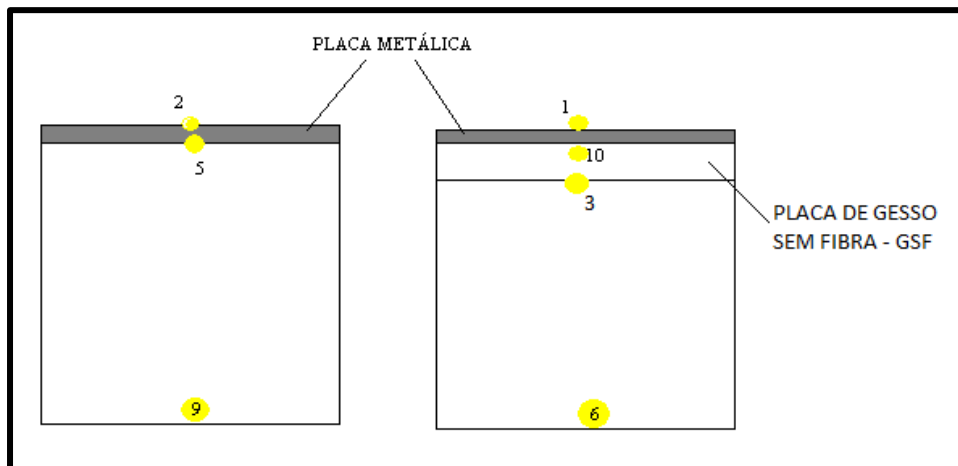


Figura 47 - Posicionamento termopares para análise da amostra SF

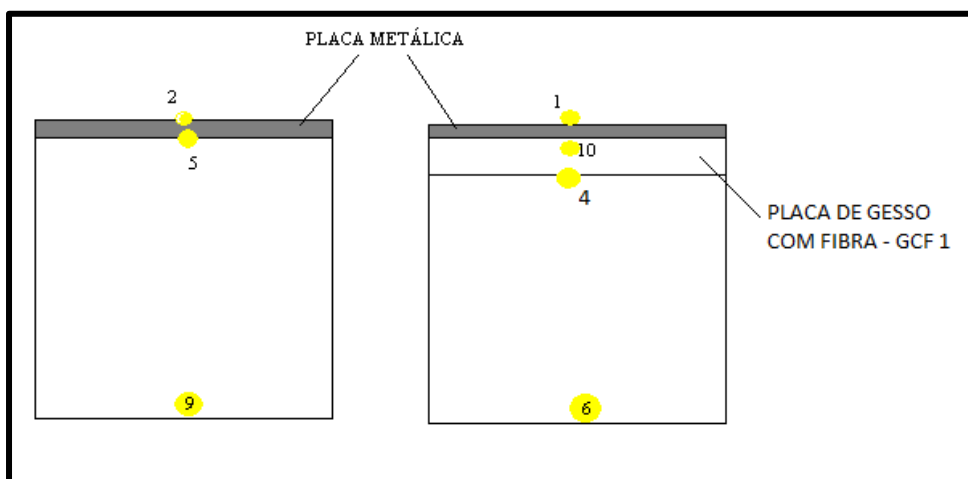


Figura 48 - Posicionamento termopares para análise da amostra CF1

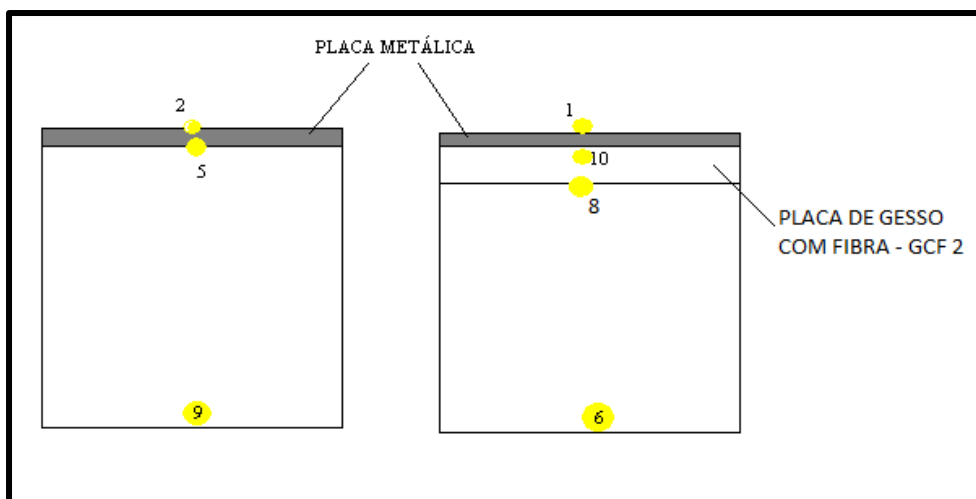


Figura 49 - Posicionamento termopares para análise da amostra CF2

- e. Após posicionados e fixados os termopares foram conectados a placa do “sistema de aquisição de dados”, que registra as variações de temperatura em cada um deles durante a duração do experimento. O intervalo adotado para registro das medições de temperatura, que é ajustável, foi de 10 minutos, Figura 50 a seguir.



Figura 50 - Termopares fixados nas placas

- f. Cada amostra foi ensaiada três vezes, adotando-se um tempo de medição de 12 horas para o aquecimento, com a fonte de radiação térmica ligada, e também de 12 horas para o

resfriamento. A temperatura do ambiente foi mantida durante as duas fases, aquecimento e resfriamento, em torno de 23°C, com auxílio do sistema de condicionamento de ar da sala, Figura 51 apresentada a seguir.



Figura 51 - Fase de aquecimento

- g. Como forma de minorar os efeitos das correntes de convecção procurou-se, na medida do possível, isolar parcialmente o aparato do experimento do restante do ambiente, conforme pode ser observado na figura 52.



Figura 52 - Fase de aquecimento - Isolamento

3.3.4 Caracterização acústica

3.3.4.1. Determinação do coeficiente de absorção sonora

A determinação dos Coeficientes de Absorção Sonora das amostras foi realizada no Laboratório de Ensaio Acústicos - LAENA do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - INMETRO, utilizando um tubo de impedância. Os procedimentos deste ensaio são descritos nas normas ISO 10534-1 e ISO 10534-2. Os resultados de absorção são obtidos pela incidência normal de ondas planas em direção perpendicular às amostras.

O método utiliza um microfone mantido no centro da sua seção transversal, o qual pode ser posicionado livremente ao longo do seu comprimento. As funções de transferência são identificadas pela utilização de uma varredura de senos como sinal de excitação, otimizada para manter alta relação sinal/ruído numa faixa de frequência até a frequência de corte do tubo. O sistema de medição utiliza um protótipo de equipamento desenvolvido no Inmetro. O equipamento integra um amplificador de áudio compacto de baixa distorção, condicionadores de sinais de microfones e conversores A/D e D/A de alta resolução. Cabe ao programa de computador "Monkey Forest" o controle da medição. A fórmula de cálculo da reflexão sonora foi rescrita para permitir interpretações das etapas intermediárias do método sobre respostas impulsivas. É proposta uma etapa adicional de processamento em resposta impulsiva que reduz erros sistemáticos causadas por múltiplas reflexões no tubo. São apresentados resultados obtidos para uma terminação rígida, para verificar a repetitividade e as influências de erros no posicionamento do microfone (ARAÚJO, A. N. A., et al., 2008).

Ainda de acordo com ARAÚJO, A. N. A., et al., 2008, considera-se a propagação de ondas planas nos tubos, ou seja ondas propagantes sem alteração de forma no eixo longitudinal. O sistema para medição é completado com a instalação de uma fonte sonora em uma das extremidades do tubo e uma amostra de material na outra. No método, dois pontos de captação

distantes no comprimento do tubo, são suficientes para separar ondas incidentes e refletidas na amostra.

As duas posições de microfone, designados por 1 e 2, bem como as definições das distâncias no tubo são apresentadas na Figura 53.

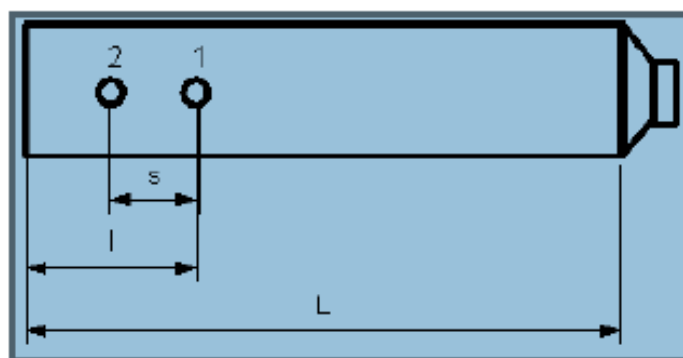


Figura 53 - Posições do microfone, pontos 1 e 2, e distâncias no tubo

Através da equação (3.16), a seguir apresentada, é calculado o fator de reflexão complexo em função da frequência “R”.

$$R = \frac{(H_{12} - e^{iks})e^{-ik2l}}{e^{-iks} - H_{12}} \quad (3.8)$$

Na equação a função de transferência entre as duas posições de microfone é representada por H_{12} . Os termos complexos e^{iks} e e^{-iks} , onde “k” é o número de onda e “s” é a distância entre os pontos, expressam teoricamente a diferença de fase nos dois sentidos de propagação no tubo. Outra correção de fase é necessária para transpor a reflexão até a superfície do material, multiplicando-se o termo e^{-ik2l} , onde l a distância do ponto mais distante da amostra até a face da amostra. Com o valor de R complexo determina-se a impedância e o coeficiente de absorção sonora (ARAÚJO, A. N. A., et al., 2008).

Capítulo 4

Resultados e Discussões

4.1 Caracterização do gesso

4.1.1 Análise granulométrica

Os resultados da análise granulométrica, conforme pode ser observado na curva de distribuição granulométrica do material, histograma, apresentada na Figura 54, indicaram que 10% das partículas do material tem diâmetro igual ou inferior a $0,94 \mu\text{m}$, enquanto 90% tem diâmetro igual ou inferior a $13,21 \mu\text{m}$. o diâmetro médio das partículas de gesso resultou com sendo da ordem de $6,66 \mu\text{m}$.

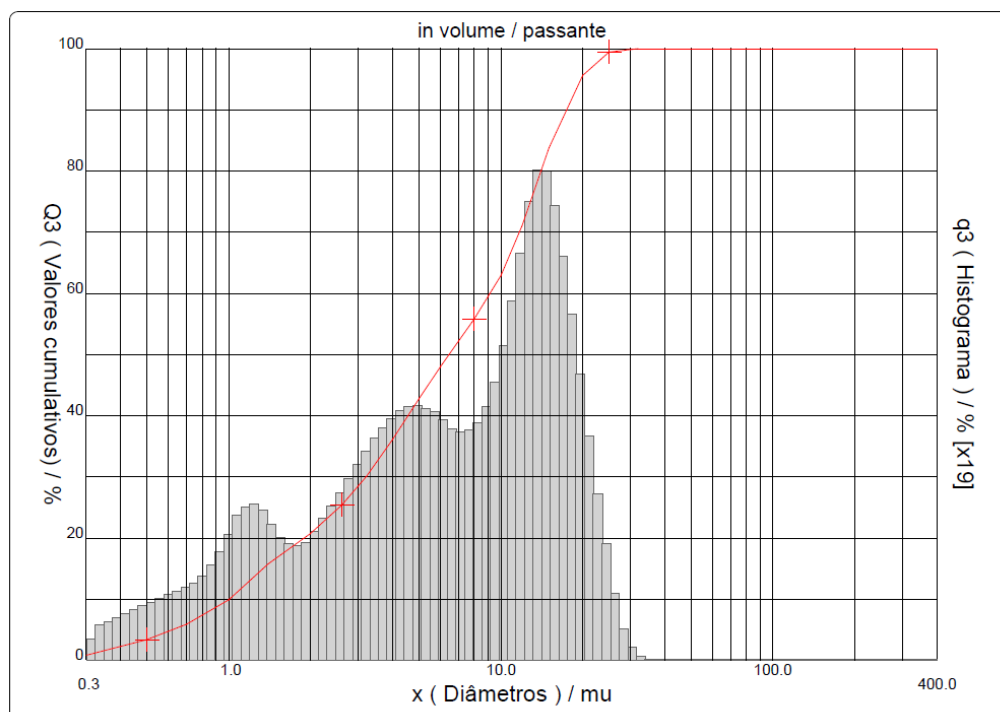


Figura 54 - Curva granulométrica do gesso

4.1.2 Análise mineralógica

O difratograma do gesso apresentado na Figura 55 demonstra que a amostra é basicamente composta por bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$). Nota-se também a ausência do dihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), demonstrando que a temperatura de calcinação foi suficiente para a desidratação parcial da gipsita.

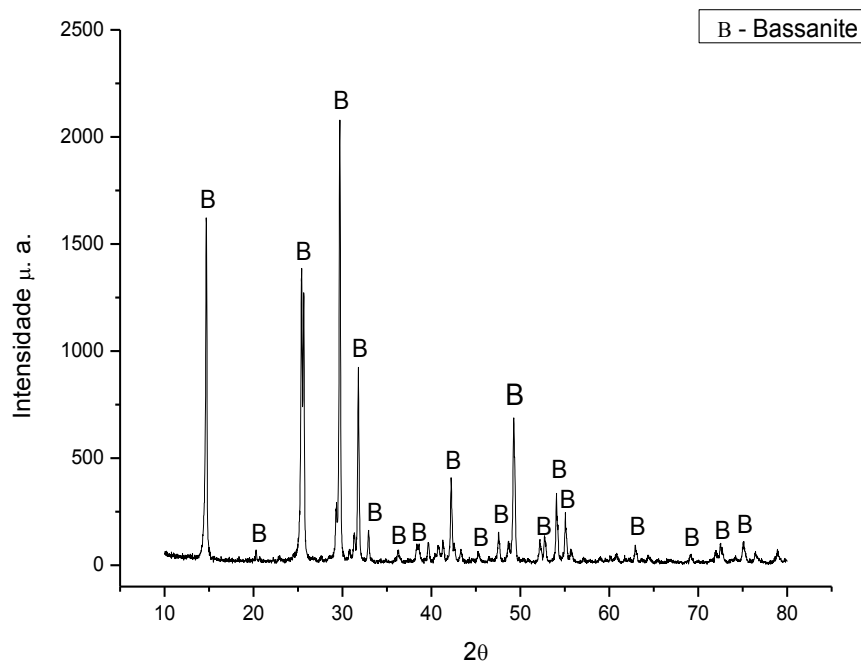


Figura 55 - Difratograma do gesso

4.2 Caracterização da fibra de coco seco

4.2.1 Aspectos físicos

4.2.1.1 Comprimento médio e título da Fibra

Os resultados obtidos indicaram que o comprimento médio das fibras de coco seco é da ordem de 19,90 cm, com um coeficiente de variação de 14,74%. Os valores obtidos neste estudo estão coerentes com os resultados obtidos em outros estudos, conforme pode ser observado na Tabela 8 apresentada anteriormente.

O título das fibras (peso em grama de 1.000 metros de fio), por sua vez, resultou como sendo da ordem de 78,96 tex (unidade de título), com um coeficiente de variação da ordem de 33,70%.

4.2.1.2 Espessura

Os ensaios realizados apontaram para uma espessura média da fibra de coco seco da ordem de 0,261 mm, com um coeficiente de variação de 19,54 %, valor esse compatível com os apresentados na Tabela 8.

4.2.1.3 Densidade

O ensaio realizado possibilitou determinar um valor da ordem de 1,29 g/cm³ para a densidade da fibra de coco seco, valor esse coerente com os determinados por LADCHUMANANANDASIVAM (2009), FAGURY, R.V.G (2005) e SOEIRO N.S. et al. (2004), da ordem, respectivamente, de 1,15-1,5 g/cm³, 1,305 g/cm³ e 1,2461 g/cm³, valores esses constantes na Tabela 8 anteriormente apresentada.

4.2.1.4 Regain %

O Regain (quantidade de água existente na estrutura da fibra) determinado para a fibra foi de 9,00% com coeficiente de variação da ordem de 6,65%, valor esse também compatível com aqueles obtidos por FAGURY, R.V.G (2005) e LADCHUMANANANDASIVAM(2009), também constantes da Tabela 8, da ordem, respectivamente, de $7,7 \pm 1\%$ e 10-12.

4.2.1.5 Resistência à tração

Os resultados dos ensaios indicaram para as fibras de coco seco uma tenacidade média da ordem de 9,072 (cN/tex), que corresponde a uma tensão de 117 Mpa, e um alongamento médio de 18,167%. Esses valores são compatíveis com os determinados em outros estudos, conforme pode ser observado na Tabela 10, pag. 59. Na Figura 56 é apresentado o gráfico da curva média força x alongamento.

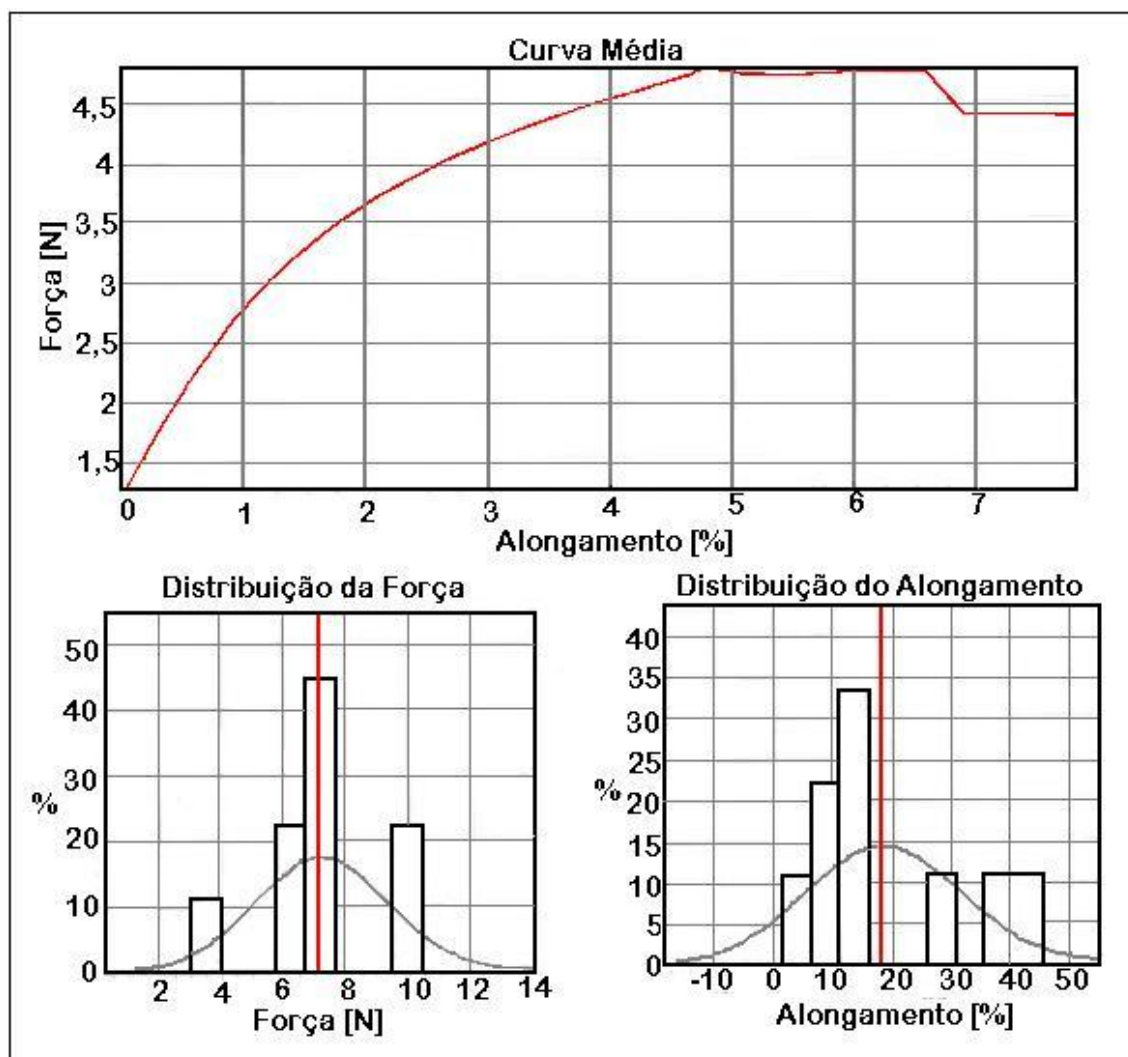


Figura 56 - Curva média força x alongamento

4.3 Caracterização dos compósitos

4.3.1 Caracterização física

4.3.1.1 Massa específica

Os resultados obtidos indicaram que a massa específica dos compósitos é inversamente proporcional à espessura da manta, conforme pode ser observado na Figura 57 a seguir apresentada. A variação do valor da massa específica da amostra correspondente ao material gesso (SF) para o compósito CF2 foi da ordem de 8,5%.

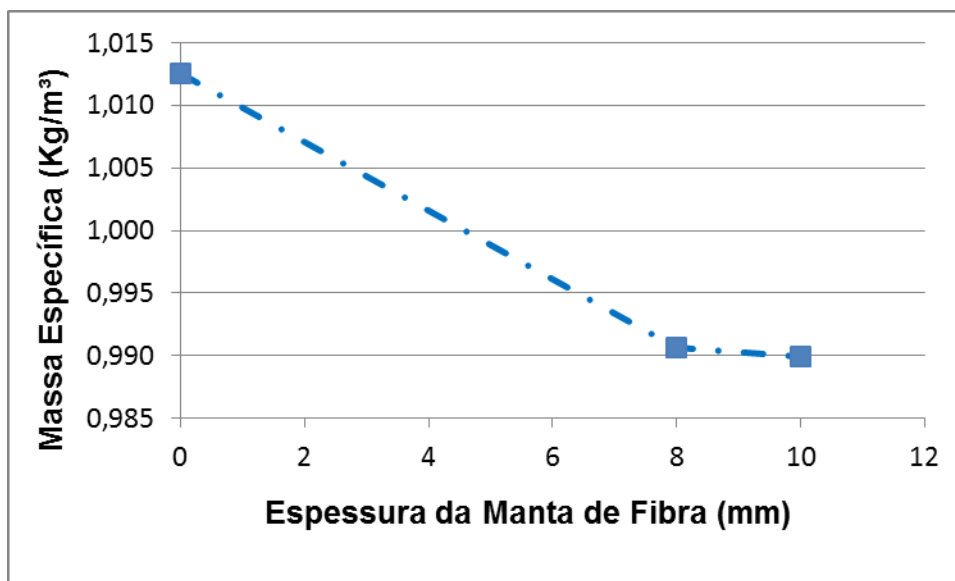


Figura 57 - Massa específica do compósito x espessura da manta

4.3.1.2 Absorção

Os resultados dos ensaios de absorção são apresentados na Figura 58 a seguir. Verifica-se, da análise dos mesmos uma maior absorção d'água para as amostras referentes aos compósitos (CF1 e CF2) em relação à amostra correspondente ao material gesso (SF). Indicam ainda uma maior absorção para a amostra com maior volume de fibras (CF2), o que se justifica pela elevada capacidade das fibras de absorverem água em sua região central, na cavidade denominada lúmen (COUTTS, 1992).

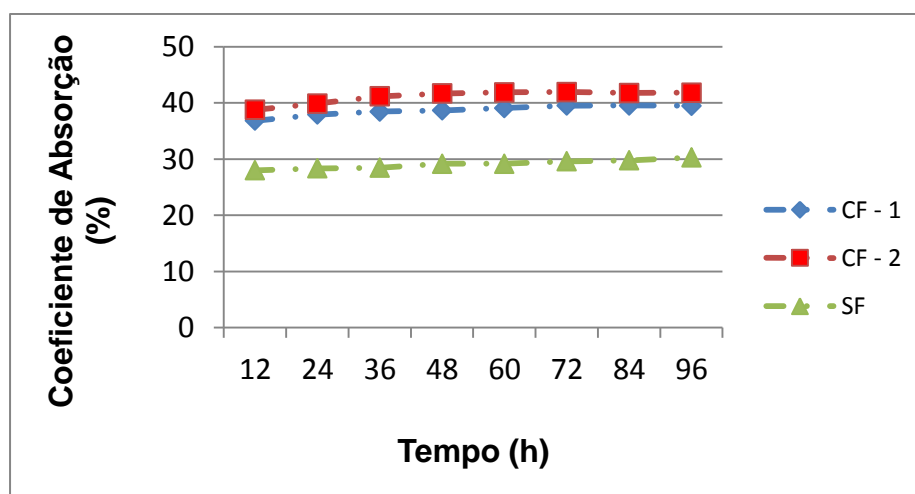


Figura 58 - Coeficiente de absorção x tempo

4.3.2 Caracterização mecânica

4.3.2.1 Resistência à flexão em três pontos

Os resultados obtidos nos ensaios, apresentados no Gráfico da Figura 59 a seguir, indicam que com a adição da manta de fibra ocorreu decréscimo na tensão de ruptura à flexão, diferentemente do que ocorreria caso a fibra estivesse dispersa na matriz, conforme demonstrado em diversos experimentos utilizando matriz cimentícia e fibra vegetal.

As curvas apresentadas são típicas das duas situações, matriz frágil e matriz frágil reforçada com fibras, e evidenciam que embora a resistência máxima dos compósitos seja inferior a da matriz, ocorreu, para os mesmos, um ganho significativo em termos de ductilidade e tenacidade (SARZALEJO, A. G. et al.).

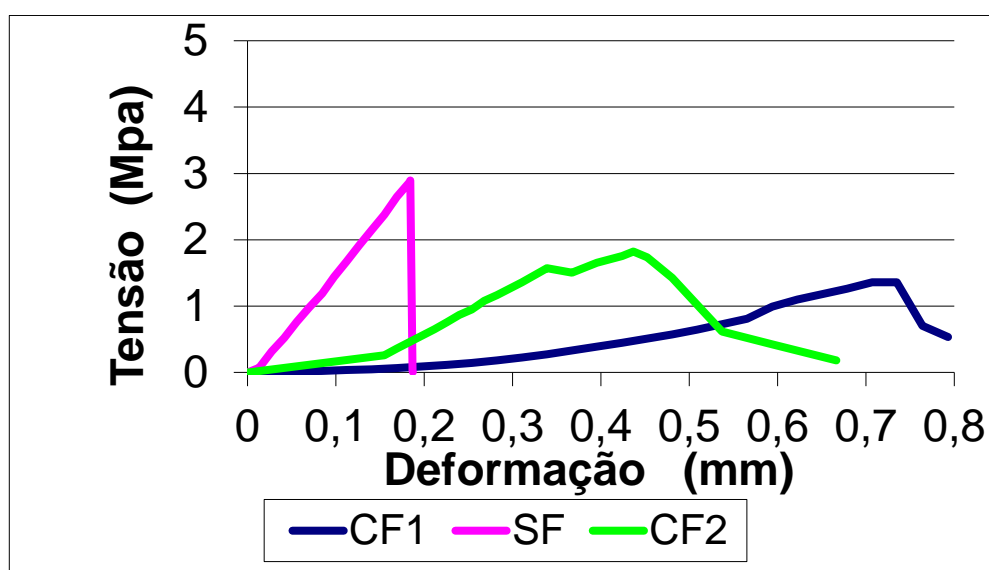


Figura 59 - Flexão: Gráfico tensão x deformação

4.3.2.2 Resistência à compressão

4.3.2.2.1 Força perpendicular ao plano - FLATWISE

Os resultados obtidos, apresentados no gráfico da Figura 60 a seguir, possibilitam concluir que a resistência à compressão do compósito é influenciada negativamente pela espessura da manta. Observou-se uma redução dessa propriedade com o aumento da espessura da mesma, uma vez

que as fibras não atuam como reforço sob compressão, podendo na verdade constituir-se em falhas na estrutura do material.

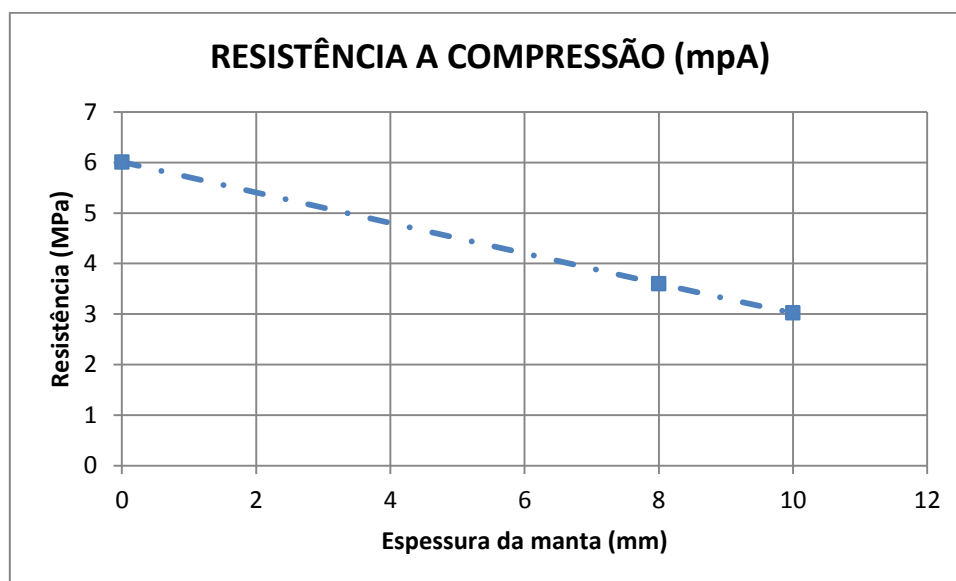


Figura 60 - Compressão Flatwise: Gráfico tensão x espessura da manta

Também foi observado que após a ruptura o corpo-de-prova mantinha suas partes unidas pelas fibras, não perdendo, assim, sua continuidade e evitando uma falha catastrófica. Tal fato já tinha sido observado por PICANÇO, 2005, que constatou esse fato durante um ensaio de compressão de compósitos de argamassa reforçada com fibra vegetal, confirmando que as fibras conferem aos compósitos de matrizes frágeis uma certa capacidade, mesmo que mínima, de carregamento, após a fissuração da matriz, evitando, dessa forma, sua fratura brusca.

4.3.2.2 Força paralela ao plano - EDGEWISE

Observou-se nos resultados desses ensaios, gráfico da Figura 61, com a força paralela ao plano, Edjewise, uma grande semelhança com aqueles obtidos com a força perpendicular ao plano, Flatwise, ou seja, é possível concluir, da mesma maneira, que a resistência à compressão do compósito é influenciada pela espessura da manta, diminuindo em valor com o aumento da espessura da mesma, o que confirma que as fibras não atuam como reforço sob compressão.

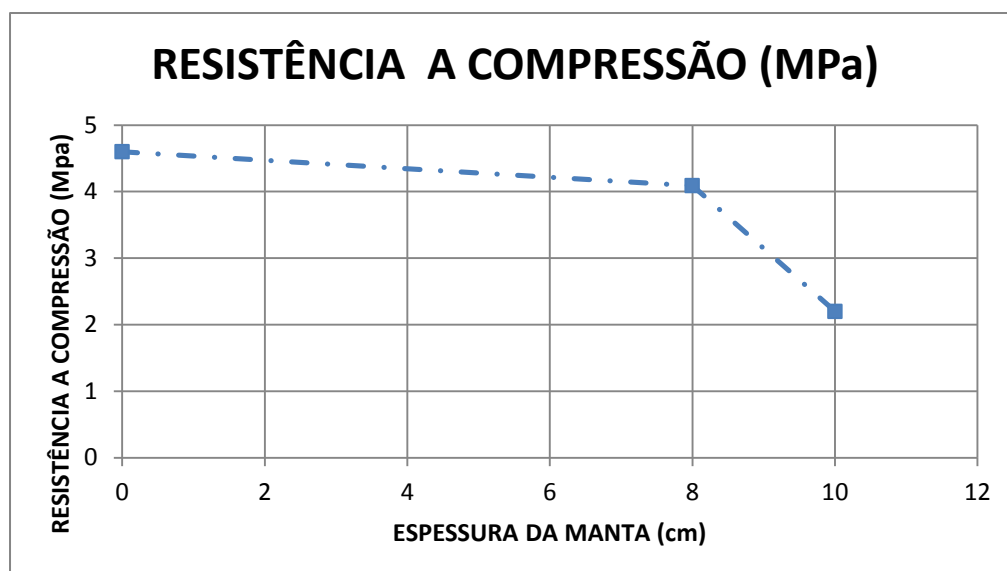


Figura 61 - Compressão Edjewise: Gráfico tensão x espessura da manta

Da mesma forma, à semelhança dos ensaios com a força perpendicular ao plano, pode-se também observar que as fibras impediram uma fratura abrupta, mantendo unidas, por algum tempo, as partes do corpo de prova.

4.3.3 Caracterização térmica

4.3.3.1 Propriedades térmicas

De acordo com os gráficos apresentados nas Figuras 62, 63 e 64, a seguir apresentadas, observa-se que os valores das propriedades termofísicas - condutividade térmica, capacidade térmica volumétrica e difusividade térmica - para os compósitos (CF1 e CF2), são inferiores àqueles correspondentes ao material gesso (SF), e que o decréscimo é maior para uma maior espessura da manta. Embora as alterações não sejam muito significativas, comprovam que a inserção da manta melhora as propriedades isolantes do gesso.

Quanto a condutividade térmica, Figura 62, observou-se reduções nos valores da ordem de 13% e 22%. Considerando-se que a condutividade térmica do gesso vale aproximadamente 0,48 W/m.K (Ozisik, 1990), conclui-se que o fato se deveu mais ao ar aprisionado entre as fibras que ao ar no interior (lúmem) das fibras.

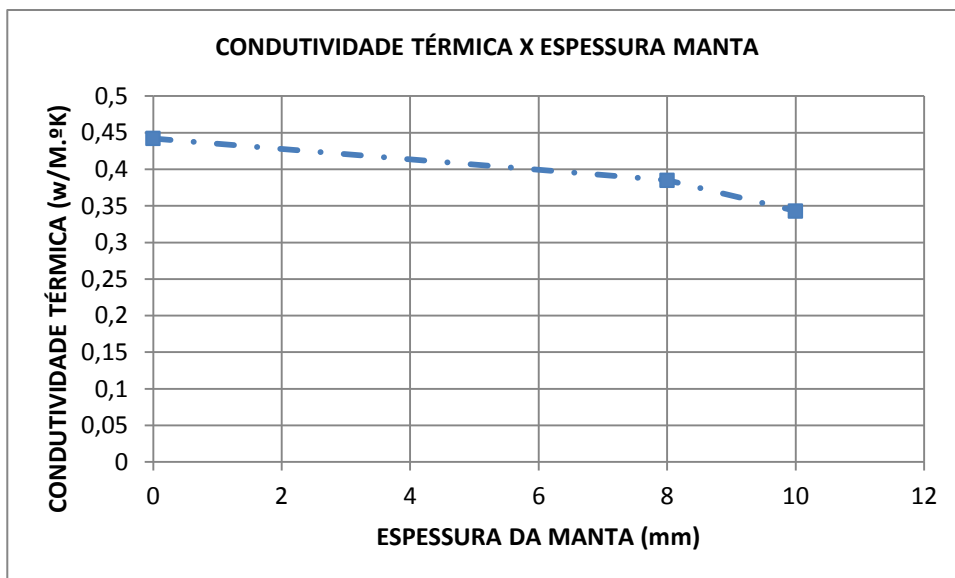


Figura 62 - Condutividade Térmica x Espessura da Manta

Em relação a capacidade calorífica, Figura 63, foram registradas reduções nos valores de cerca de 5% e 6%, respectivamente para os compósitos CF1 e CF2, em comparação ao valor determinado para a amostra padrão SF. Destaca-se que os valores obtidos para o calor específico ($\rho \cdot CP$) são multiplicados por 10^6 J/m³.K, razão pela qual a diferença apenas parece ser insignificante. Sendo essa propriedade um indicador da quantidade de energia necessária à alteração da temperatura dos corpos quando submetidos a uma fonte térmica de magnitude constante, a diferença é, no entanto, muito significativa do ponto de vista da redução do consumo de energia necessária à obtenção de conforto térmico no interior de habitações.

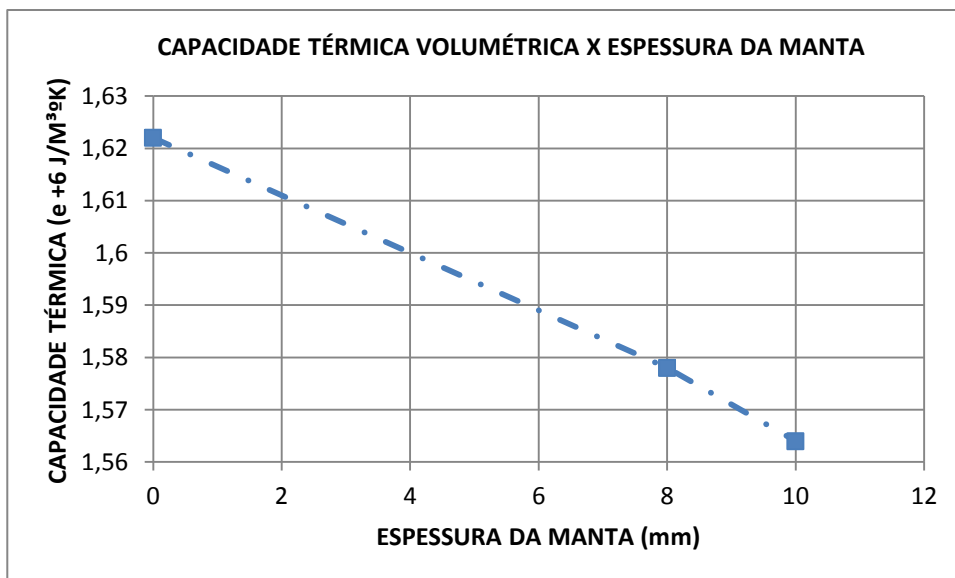


Figura 63 - Capacidade Térmica Volumétrica x Espessura da Manta

No que se refere a difusividade térmica, Figura 64, a redução dos valores foi da ordem de 10% 20% para os compósitos CF1 e CF2, respectivamente. Como essa propriedade está relacionada à velocidade com que o calor flui através do material durante as variações de temperatura com o tempo (Ozisik, 1990), uma redução dos seus valores é bem vinda pois estaria associada a um tempo maior para que o calor penetre no meio.

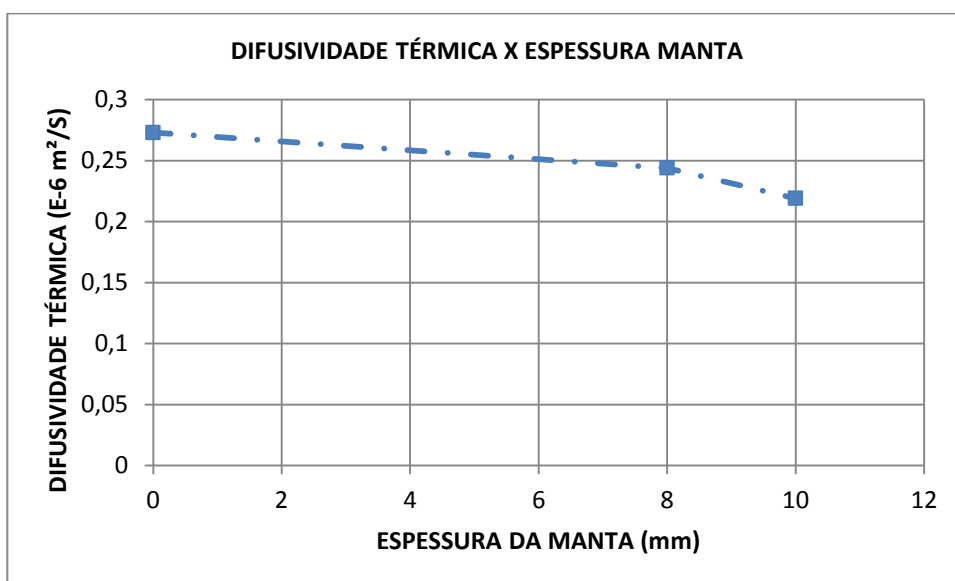


Figura 64 - Difusividade Térmica x Espessura da Manta

4.3.3.2 Desempenho térmico

O Gráfico da Figura 65 apresenta uma comparação das diferenças de temperaturas entre as registradas no termopar localizado na face superior da placa metálica (termopar 1) e aquelas registradas nos termopares situados nas faces inferiores das amostras (termopares 3, 4 e 8), em função da espessura da manta de fibra de coco. Observa-se que para os compósitos (CF1 e CF2) ocorreu um significativo arrefecimento térmico, da ordem de 3,3°C e 10,3°C, respectivamente, arrefecimento esse diretamente proporcional à espessura da manta. A posição dos termopares pode ser observada nas Figuras 47, 48 e 49, páginas 93 e 94.

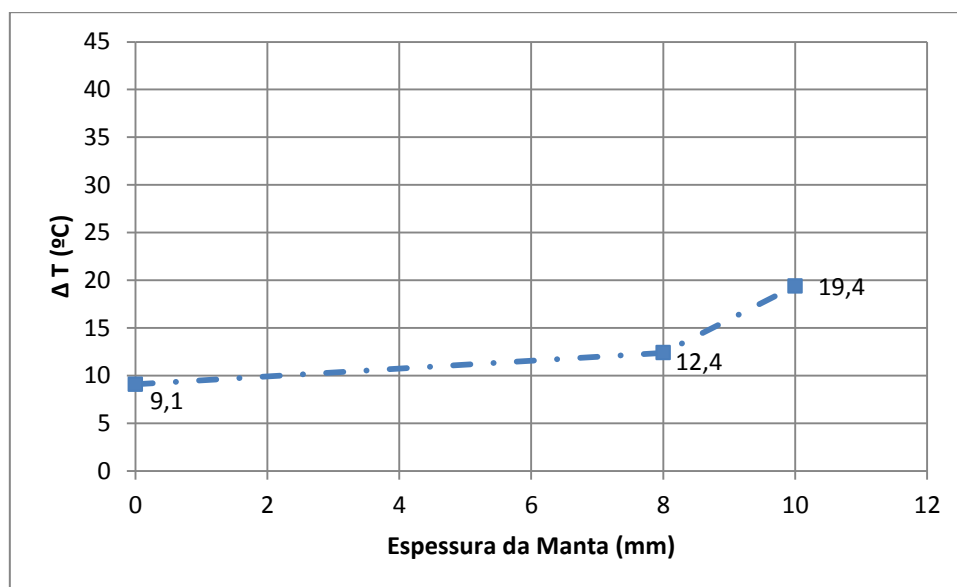


Figura 65 - Gradiente de Temperatura x Espessura da Manta.

Quando comparadas as diferenças entre as temperaturas registradas no termopar localizado na face superior da placa metálica (termopar 1) e às registradas no termopar situado na superfície inferior da câmara de teste (termopar 6), observa-se, da mesma forma, conforme apresentado no Gráfico da Figura 66 a seguir, que também ocorreu para os compósitos (CF – 1 e CF – 2) um significativo arrefecimento térmico, da ordem de 3,2°C e 7,2°C, respectivamente, arrefecimento esse também diretamente proporcional a

espessura da manta. Da mesma forma A posição dos termopares pode ser observada nas Figuras 47, 48 e 49, páginas 93 e 94.

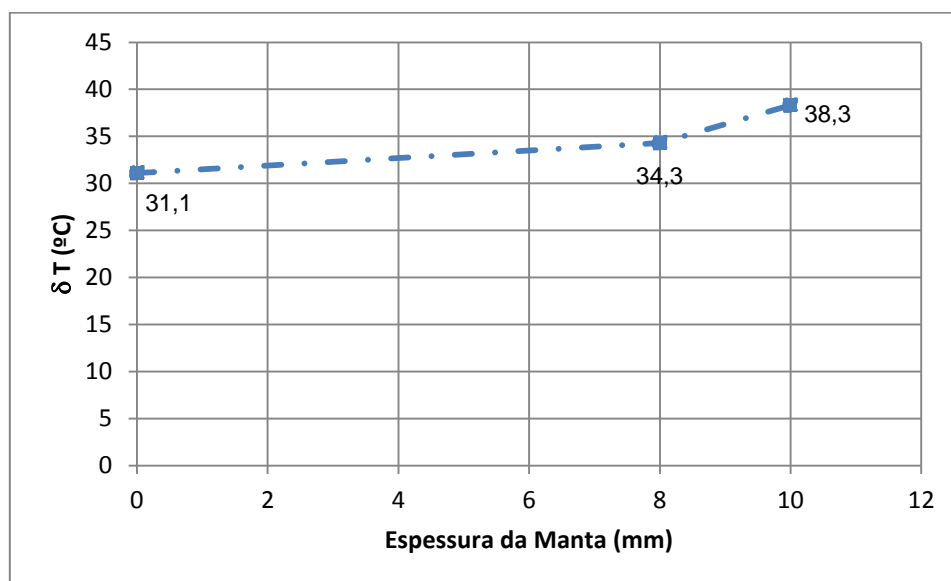


Figura 66- Gradiente de Temperatura x Espessura da Manta

Os resultados dos ensaios já eram esperados e justificam-se em função do comportamento das propriedades térmicas dos compósitos CF1 e CF2, analisadas anteriormente.

4.3.4 Caracterização acústica

4.3.4.1 Absorção sonora

Pode-se observar no gráfico da Figura 67, a seguir apresentada, que no intervalo de frequências de 102,28 Hz a, aproximadamente, 1.150,00 Hz, os valores dos coeficientes de absorção sonora para as amostras dos compósitos (CF e CF2) são superiores àqueles da amostra constituída apenas pelo material gesso (SF). Observa-se, ainda, nesse intervalo de frequências, um incremento dos valores do referido coeficiente com o aumento da espessura da manta de fibras de coco.

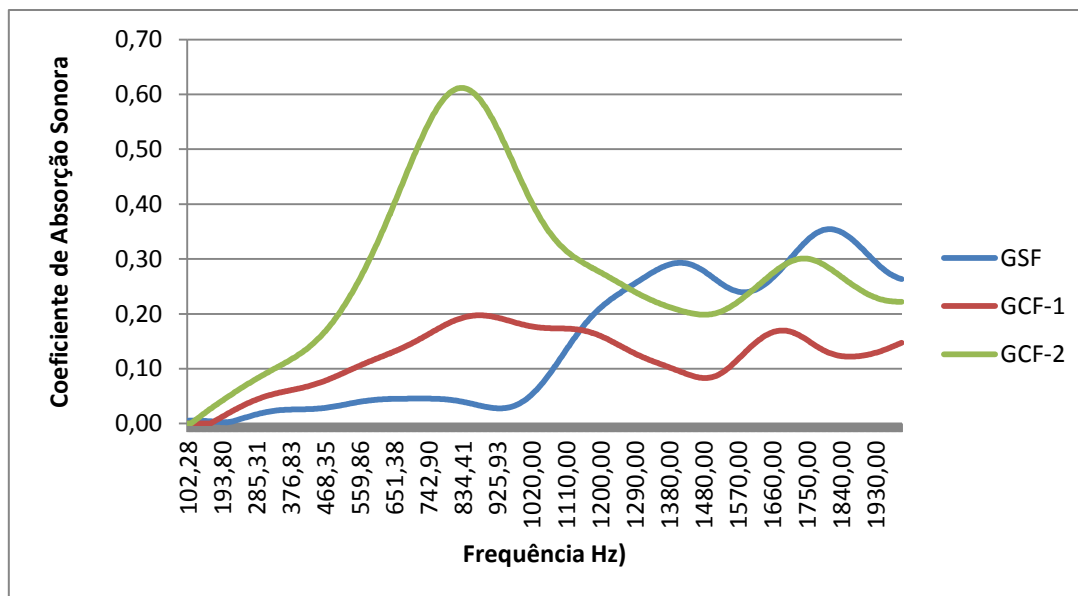


Figura 67 - Coeficiente de absorção sonora x Frequência

Pode-se observar, portanto, que a fibra de coco, no caso das amostras estudadas, melhorou o desempenho do gesso em relação à absorção sonora para as médias frequências (chegando a valores de 0,6 próximo a 800Hz), porém não apresentaram o mesmo comportamento para as frequências mais altas.

Capítulo 5

Conclusões

Este trabalho envolveu a elaboração de compósitos de gesso-fibra de coco seco e análises de suas propriedades físicas, visando sua utilização na indústria da construção civil.

As fibras de coco foram utilizadas em forma de manta com espessuras de 8mm e 10mm, enquanto as amostras de compósitos, em forma de placas com espessura de 24mm, foram elaboradas em forma de *sandwich* composto por três camadas, sendo as externas constituídas pelo gesso e o núcleo pela manta.

Os valores das propriedades térmicas - condutividade, capacidade volumétrica e difusividade – dos compósitos foram inferiores a do material gesso, com redução mais significativa para uma maior espessura da manta de fibra. Essas reduções apontam para um ganho significativo em termos de economia no consumo energético para climatização de ambientes.

A avaliação do desempenho térmico demonstrou que os compósitos apresentaram um ganho significativo em sua capacidade de isolamento térmico quando comparado ao material gesso. Os ensaios indicaram que o compósito CF2 apresentou um arrefecimento térmico da ordem de 10,3°C quando comparado ao gesso (SF). Os resultados corroboraram o que já havia sido observado nas propriedades térmicas dos compósitos e sinalizam, em função da amplitude do arrefecimento, a economia de energia que pode ser obtida.

Os resultados dos ensaios acústicos realizados demonstraram que os compósitos apresentaram maiores valores para o coeficiente de absorção acústica, na faixa de frequência de 102,28 Hz a 1.150,00 Hz, ganhos esses crescentes com a espessura da manta.

Os compósitos estudados apresentaram, quando ensaiados a flexão, menores resistências que a do gesso. Os resultados dos ensaios de flexão demonstraram, por outro lado, que a adição manta ampliou a capacidade de deformação do compósito, impedindo a ocorrência de um colapso brusco, ou seja, que ocorreu um razoável ganho em termos de ductilidade e tenacidade.

Os ensaios de compressão realizados em amostras dos compósitos e do material matriz, gesso, demonstraram que, por ser este material, isoladamente, o que possui melhor resistência a esse esforço, sua resistência diminui com a adição da manta de fibra, reforço, na razão inversa da espessura da manta. Também foi observado, a exemplo dos ensaios à flexão, que as fibras evitaram uma ruptura brusca do material.

Os compósitos apresentaram massa específica inferior a do gesso, uma redução da ordem de 8,50% para o CF2, indicando a possibilidade da produção de materiais de vedação e revestimento mais leves para a indústria da construção civil.

Sugestões para trabalhos futuros

Realizar, com a mesma metodologia utilizada neste trabalho, estudos utilizando como espessura para o compósito valor compatível com o adotado para as vedações verticais das edificações.

Analisar compósito semelhante ao estudando, estrutural tipo sanduiche, reforçando, no entanto, as faces do mesmo, ou seja, a matriz gesso, com fibras de coco seco descontínuas e alinhadas aleatoriamente, como forma de melhorar as propriedades mecânicas.

Estudar outras propriedades mecânicas como a resistência ao impacto e de arrancamento por tração para os compósitos descritos no item anterior, como forma de analisar a viabilidade do uso dos mesmos como vedações internas de edificações.

Ainda para esses compósitos realizar a determinação das propriedades térmicas e do desempenho acústico

Desenvolver amostras dos compósitos com maiores dimensões possibilitando analisar o desempenho dos mesmos em termos de isolamento acústico, além da absorção sonora.

Estudar a possível perda de resistência à tração das fibras de coco seco quando dispersas na matriz gesso.

Referências

AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais. São Paulo, 1991. 204p. Tese (Livre-Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AGOPYAN, V., SANTOS, I. S. S. A influência da Relação Água-Gesso nas Propriedades Mecânicas do Fibrogesso. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC/48. 1991.

AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, C. T. A. Desenvolvimento de um painel de gesso reforçado com fibra de vidro para vedação interna.

ANSEL, M. Static and Dynamic Properties of Sisal Composites. Symposium on Fibre Reinforced Composites. Port Elizabeth. South Africa. 24-25 February, 2009.

ANTUNES, R. P. N. Estudo da Influência da Cal Hidratada nas Pastas de Gesso. Dissertação de Mestrado apresentada a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1999.

ARAÚJO, M. A. N.; Massarani, Paulo. Implementação de medição em tubo de impedância com um método de função de transferência. VI Congresso Ibero-americano de Acústica – FIA. (2008).

ASTM C 271-99 -Standard Test Method for Density of Sandwich Core Materials.

ASTM C 272 - 01 - Standard Test Method for Water Absorption of Core Materials for Structural Sandwich Constructions.

ASTM C 297 / C 297M-04 - Standard Test Method for Flatwise Tensile of Sandwich Constructions.

ASTM C 364 - 99 - Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions.

ASTM C 364 - 99 - Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions.

ASTM D 790 - 10 - Standard test Method for Flexural Properties or Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.

ASTM D5930/09. – Standard Test Method for Thermal Conductivity of Plastics by Means of a Transient Line-Source Technique –,

BALANÇO MINERAL BRASILEIRO. Ministério das Minas e Energia. Ano Base 2001.

BARROS FILHO, R. M. Sistema Drywall e Steel Frame. Faculdade INAP. 2010.

BEKHATA, P.; DOBROWOLSKA, E. Thermal Properties of Wood-Gypsum Boards. *Holtz als Roh-UndWerkstoff*; p.427-428. (2005).

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao controle de Ruído. Editora Edgard Blucher. 1ª Edição. (2006).

BRANCO, P. M. Dicionário de Mineralogia e Gemologia. Editora Oficina de Textos. (2008).

CALLISTER JR., William D. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 2ª Ed. LTC Editora, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

CANUT, M. M. C. Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção. 2006. 154f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. (2006).

CINCOTTO, M. A.; AGOPYAN, V. e FLORINDO, M. C. O gesso como material de construção. Tecnologia de Edificações, São Paulo: IPT-PINI, Parte 1, 1988.

CORREIA, C. M. P; SOUZA, M. F. Propriedades térmicas do gesso e seus compósitos. 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais. 24 a 28 de novembro de 2008.

COUTTS, R. S. P. From forest to factory to fabrication. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FIBRE REINFORCED CEMENT AND CONCRETE, 4., Sheffield, 1992. Proceedings... London, E & FN Spon, 1992. p. 31-47. (RilemProceedings, 17).

Cuenca, M. A. G. A Cultura do Coco no Brasil. EMBRAPA. (1997).

DANA, J.D. Manual de Mineralogia. V.1. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1969. 642p.

ESCARIZ R. C. Desempenho à Compressão de Compósitos Reforçados por Fibras de Coco.

FAGURY, R.V.G. Avaliação de Fibras Naturais para a Fabricação de Compósitos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFPA. (2005).

FONTENELE, R.E. O. Cultura do Coco no Brasil: Caracterização do Mercado Atual e Perspectivas Futuras. (2005).

GUIMARÃES, S. S. Vegetable fiber-cement composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. Proceedings... London, Chapman and Hall, 1990. p. 98-107. (Rilem proceedings, 7).

ISO 10534-1 - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using standing wave ratio.

ISO 10534-2 - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method

JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE PROCEEDINGS. Atmospheric Humidity and the Moisture Content and Regain of Textile Materials. Volume 31, Issue 1, 1940.

KANO, W. M. Propriedades Mecânicas do Gesso de Alto Desempenho. São Carlos, 2009. Tese Doutorado. Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo.

LADCHUMANANAMDASIVAM, R. Apostila da Disciplina Tecnologia das Fibras. PPGCEM/UFRN. 2006.

LADCHUMANANANDASIVAM, R.; TAVARES, M. M.; FELIPE, M. G.; ALEXANDRE, M. E. O. Potential of the Brazilian natural lignocellulosic Fibres for Composite Manufacturing. Symposium on Fibre Reinforced Composites. Port Elizabeth. South Africa. 24-25 February, 2009.

LE PLÂTRE: Physico-chimie, Fabrication et Emplois. Editions Eyrolles, Paris, (1982).

LOSSO, M., VIVEIROS, E. Uma Análise Comparativa entre Teoria e Prática das Condições de Isolamento Sonoro de Paredes de Gesso Acartonado. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. 18-21 Julho, 2004.

MACIEIRA, R.P. Produção de Compósito do Tipo Gesso-Polímero para Aplicação na Fabricação de Painéis Externos em Edificações. Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento de Processos Ambientais. UNICAP/PE, (2011).

NBR 12127 – Gesso para Construção – Determinação das Propriedades Físicas do Pó.

NBR 12128 – Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Físicas da Pasta.

NBR 12129 – Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Mecânicas.

NBR 13154, referência ISO 4913 - Determinação do Comprimento das Fibras.

NBR 13207 – Gesso Para Construção Civil.

NBR 13214, referência ISO 2060 - Determinação do Título.

NBR 13371 -Determinação da Espessura.

NBR 13385, Ref. ISO 5079 - Determinação da carga de ruptura e alongamento em fibras manufaturadas.

OLIVEIRA, C. T. A.; AGOPYAN, V. Desenvolvimento de um painel de gesso reforçado com fibra de vidro para vedação interna. . Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. BT/PCC/164. 1996.

OLIVEIRA, M. P. Materiais compósitos a base de gesso contendo EVA (Etileno Acetato de Vinila) e Vermiculita: Otimização de Misturas e Propriedades Termomecânicas. (2009).

OZISIK, M. N. Transferência de calor, um texto básico. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1990, pp. 634.

PEDRINI, Aldomar. Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate*.Orientação Steven Szokolay. Austrália.University of Queensland, 2002. 259 p., il. Tese (DoutoradoemArquitetura) - Department of Architecture - The University of Queensland.

PIMENTEL, J. R. M. Análise das Propriedades Mecânicas do Compósito Poliéster/Fibra Ligonocelulósica. Dissertação de Mestrado. PPGEM/UFRN. 2012.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Fibras Vegetais para Construção Civil – Fibra de Coco. Boletim Técnico 04/86. Departamento de Engenharia Civil. EP/USP. (1986).

SARZALEJO, A. G.; ROSSI, B.; PERRI, G.; WINTERBERG, R.; ARISTEGUIETA, R. E. Fibras como Elemento Estrutural para Reforço de Concreto. Manual Técnico. Maccaferri.

SAVASTANO JÚNIOR, H. Materiais à Base de Cimento Reforçados com Fibra Vegetal: Reciclagem de Resíduos para a construção de Baixo Custo. Tese apresentada a Concurso de Livre-Docência, junto ao departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica de São Paulo. Fevereiro, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V. Microestrutura x desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais. WORKSHOP SOBRE RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO CIVIL, 1996, São Paulo. Anais... São Paulo: Epusp/Antac, 1997. p.153-8.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; AGOPYAN, V.; OLIVEIRA, E. L. Estudo da Microestrutura das Fibras Vegetais e de suas Implicações sobre o Desempenho de Compósitos Cimentícios. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.17, n.1, p.113-124, (1997).

SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do Aproveitamento de Resíduos de Fibras Vegetais para fins de Obtenção de Material de Construção. Revista Brasileira de Engenharia Agrônômica e Ambiental (2000).

SEBRAE. Polo Gesseiro Cresce na Chapada do Araripe. (2008).

SILVA A. M. P.; SLAMA, J. G. Aproveitamento da Fibra de Coco na Composição de Material para Absorção Acústica. I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. (1997).

SILVA, J. B. Avaliação da Potencialidade dos Resíduos de Gesso de Revestimento Incorporados em Formulações de Massas Cerâmicas. 2008

SILVA. M. G. S. Desenvolvimento de Compósitos a Base de Gesso e pó de Fibras de Coco. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. UFSE. (2010).

SILVA. P. Acústica arquitetônica & Condicionamento de Ar. Empresa Termo Acústica Ltda (EDTAL). 5ª Edição. 2005.

SOBRINHO, A.C.P.L., et al. Balanço Mineral Brasileiro. Gipsita. (2001).

SOEIRO. N. S. Desenvolvimento de Painéis Acústicos, confeccionados a partir de Fibras de Coco, para Controle Acústico de Recintos. Relatório Final de Pesquisa.

SOUZA, L.M.; SANTOS, R.D.; MELO, A.V.; MENDES, J.U.L.; NASCIMENTO, C.M. Compósito a Base de Gesso para Fabricação de Casas Populares.. 17º CBECIMat. (2006).

VERBEEK, C.J.R.; DU PLESSIS; B.J.G.W. Density and Flexural strength phosphogypsum – Polymer composites construction and Building Materials.V.19. p. 265-274. (2005).