

Material Compósito - Propriedades do aglomerado de Gesso e
Partículas Fragmentadas de Bambu (*Phyllostachys Edulis*)

Composite Material - Properties of Gypsum and Bamboo Fibers

(*Phyllostachys Edulis*) Particleboard

Luís Miguel Ferreira Leite de Novaes Machado

2011

Mestrado em Tecnologia e Gestão de Construções

ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEDICATÓRIA

Ao Professor e meu Orientador Eng.

Manuel Trigo Neves (in memorium).

À minha Mãe, irmãos e minha namorada

que sempre me apoiaram e incentivaram

na realização deste projecto. Obrigado!

AGRADECIMENTOS

À minha Mãe, Emília da Conceição Ferreira Leite e aos meus irmãos, António Diogo e Manuel Pedro pelo apoio e compreensão na elaboração deste estudo. Pelo seu amor, vida e atenção prestada no decorrer de toda a minha jornada no ISEP.

Agradeço do fundo do meu coração à minha namorada Ana Maria Coelho que sempre me apoiou e acompanhou ao longo destes anos e sempre teve uma palavra de força para me fazer continuar a acreditar. Um agradecimento especial pela compreensão do tempo despendido neste estudo e em toda a minha fase do ensino.

Agradeço ao Professor Manuel Trigo Neves pelo incentivo e pelo apoio neste estudo com base numa planta tão pouco divulgada e conhecida em Portugal. Por todas as viagens e companhia sempre que necessário dar mais um passo para a concretização do estudo, e acima de tudo pela presença e partilha de conhecimento que sempre dispôs em tudo. Agradeço todas as lições recebidas e toda a inspiração passada por uma vivência mais simples e feliz. A sua memória nunca será esquecida, lembrança e admiração pela maior referência do ISEP que tive a fortuna de ter como professor e orientador.

À Bambuparque na pessoa e de Ive Crouzet pela disponibilização das canas essenciais para o estudo e ao Dr. Hélder Carvalho pela amabilidade e disponibilidade com que nos recebeu nas instalações da Bambuparque na Herdade Fontes em S. Teotónio.

Ao Professor António L. Beraldo da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas pela partilha de conhecimento e auxílio prestado na obtenção de bibliografia diversa.

Ao Eng. Pedro Sousa da Sika Portugal, S.A. pela disponibilização dos adjuvantes utilizados neste estudo e pela rápida resposta na entrega destes.

À Gyptec Ibéria pela disponibilização dos materiais necessários a este estudo, ao Eng.º Ávila e Sousa e ao Eng.º Paulo Gomes por todas as sugestões, indicações e auxílio à execução dos ensaios e compreensão do processo de fabrico das placas de gesso laminados.

À empresa Moveis Fijô na pessoa do Sr. Leão por toda a disponibilidade e auxílio com a trituração das canas de bambu para obtenção das partículas.

Ao meu colega e amigo Damião Barbosa pelo auxílio na obtenção dos contactos que me levaram até ao Sr. Leão.

Ao Eng.º Rogério Pinheiro e Eng.^a Isilda Costa do laboratório de geotécnica do ISEP pelo auxílio no acesso e utilização do Laboratório de rochas.

À Eng.^a Maria da Luz Garcia pelo apoio prestado na correcção e valorização dos conteúdos presentes nesta Tese. Por toda a sua disponibilidade e partilha de conhecimentos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Neste trabalho estudou-se um compósito de gesso FGD reforçado com fibras vegetais. As fibras utilizadas neste estudo são provenientes de bambu da espécie *Phyllostachys edulis* e foram trituradas até se obter uma granulometria apropriada à composição de uma pasta de gesso que permitisse a execução de placas de gesso laminado.

As placas produzidas foram ensaiadas à flexão e posteriormente submetidas à análise de humidade para aferir a percentagem de água de cristalização nas amostras. Foram ainda produzidos provetes cúbicos com 7cm de aresta para permitira a execução de ensaio à compressão.

Foram produzidos dois tipos de pastas, uma sem a adição de partículas de bambu (controlo) e outra com adição de 15% de partículas de bambu.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu, Gesso laminado, Compósito, *Phyllostachys edulis* e Material de Construção Alternativo

ABSTRACT

In this work, it was studied a gypsum FGD composite reinforced with natural fibers. The fibers used in this study were from the species of bamboo *Phyllostachys edulis* and were crushed to obtain a particle size appropriate to the composition of a gypsum paste that allows the execution of plasterboards (drywall).

The boards produced were tested at flexion and then submitted to moisture analysis to determine the percentage of water of crystallization in the samples. Cubic specimens with 7cm edge were also produced to allow the execution of the compression test.

Were produced two types of composites, without the addition of bamboo particles (control) and one with addition of 15% of particles of bamboo.

KEYWORDS: Bamboo, Drywall, Composite, *Phyllostachys edulis* and Alternative construction material.

ÍNDICE

Resumo	vii
Palavras-chave	vii
Abstract	ix
Keywords	ix
Índice	xi
Índice de figuras.....	xv
Índice de quadros	xviii
Índice de anexos.....	xix
1. Introdução geral.....	1
2. Revisão bibliográfica	3
2.1. Gipsita.....	3
2.2. Gesso	4
2.2.1. Processo de obtenção do Gesso por extração do minério Gipsita.....	5
2.2.2. Gessos sintéticos.....	8
2.2.3. Propriedades químicas e físicas do gesso	10
2.2.4. Factores que influem o Tempo de Presa e a expansão.....	12
2.2.5. Água no gesso: Água livre (AL) e Água combinada (AC)	15
2.3. Gesso laminado.....	15
2.3.1. Placas de gesso laminado	15
2.3.1.1. Tipos comuns de gesso laminado.....	18

2.3.1.1.1.	Standard PGL - Placas de Gesso Laminado	18
2.3.1.1.2.	Placas de Gesso Laminado Hidrofugada	19
2.3.1.1.3.	Placas de Gesso Laminado Anti-fogo.....	21
2.3.1.2.	Processo de fabrico	22
2.3.1.3.	Especificações da Norma UNE-EN 520:2005+A1:2010.....	24
2.3.1.3.1.	Tipos de placas de gesso laminado.....	24
2.3.1.3.1.1.	Placa de gesso laminado do Tipo A	25
2.3.1.3.1.2.	Placa de gesso laminado do Tipo H.....	25
2.3.1.3.1.3.	Placa de gesso laminado do Tipo E	25
2.3.1.3.1.4.	Placa de gesso laminado do Tipo F	26
2.3.1.3.1.5.	Placa de gesso laminado do Tipo P	26
2.3.1.3.1.6.	Placas de gesso laminado do Tipo D.....	26
2.3.1.3.1.7.	Placas de gesso laminado do Tipo R.....	27
2.3.1.3.1.8.	Placas de gesso laminado do Tipo I.....	27
2.3.1.3.2.	Perfis de bordo longitudinal e transversal.....	27
2.3.1.3.3.	Resistência à flexão	28
2.4.	Bambu.....	29
2.4.1.	Propriedades do bambu	29
2.4.2.	Espécies de bambu mais usadas na construção civil.....	32
2.4.2.1.	Phyllostachys pubescens ou Phyllostachys edulis.....	36
2.4.3.	Fibra de Bambu	37

2.4.4.	Características mecânicas do bambu	38
2.4.4.1.	Compressão.....	40
2.4.4.2.	Tracção.....	42
2.4.4.3.	Flexão.....	44
2.4.4.4.	Torção	46
2.4.4.5.	Cisalhamento	46
2.4.5.	Compósitos de fibras de bambu	47
2.4.5.1.	Agglomerados à base de cimento e partículas de bambu.....	47
2.4.5.2.	Retracção plástica e retracção elástica em compósitos cimentícios	51
2.4.6.	Agglomerados à base de gesso e partículas de bambu	51
2.4.7.	Associação da madeira com um ligante inorgânico	52
2.4.7.1.	Influência sobre a presa do gesso.....	52
2.4.7.2.	Comportamento mecânico do Material.....	54
3.	Materiais.....	55
3.1.	Bambu	55
3.2.	Gesso	58
3.3.	Adjuvantes.....	Erro! Marcador não definido.
3.3.1.	Superplastificante.....	58
3.3.2.	Introdutor de ar	59
3.3.3.	Amido.....	61
3.4.	Papel	61

4.	Metodologias	62
4.1.	Preparação da argamassa e compósito de gesso-bambu	63
4.2.	Preparação das placas para ensaio de flexão e análise de humidade.....	67
4.3.	Controlo da água perdida após secagem	70
4.4.	Preparação de cubos para ensaio de compressão simples	72
4.5.	Ensaio de caracterização do material em estudo.....	73
4.5.1.	Ensaio de flexão	73
4.5.2.	Ensaio de Compressão	75
4.5.3.	Análise de humidade – Dihidrato	75
5.	Apresentação de resultados.....	78
5.1.	Apresentação e análise dos resultados de controlo de secagem em estufa.....	79
5.2.	Apresentação de resultados do ensaio de Flexão	85
5.3.	Apresentação de resultados do ensaio de Análise térmica	89
5.4.	Apresentação de resultados do ensaio de Compressão.....	93
6.	Conclusões.....	95
7.	Perspectivas futuras	97
8.	Referências bibliográficas.....	99
9.	Anexos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Britador de martelo de etapa simples	6
Figura 2 - Forno rotativo para calcinação da Gipsita.....	7
Figura 3 - Paredes internas de uma habitação, em gesso cartonado.	16
Figura 4 - Esquema de duplicação de painéis KNAUF	18
Figura 5 - Processo de fabrico das placas de gesso	24
Figura 6 - Placa de gesso laminado standard	19
Figura 7 - Placas de gesso laminado hidrófugo	19
Figura 8 - Placas de gesso reforçado com fibra de vidro	21
Figura 9 - Bordo longitudinal quadrado	28
Figura 10 - Bordo longitudinal biselado	28
Figura 11 - Bordo longitudinal afinado	28
Figura 12 - Bordo longitudinal semi-arredondado	28
Figura 13 - Bordo longitudinal semi-arredondado afinado	28
Figura 14 - Bordo longitudinal arredondado.....	28
Figura 15 - Organograma de aplicações possíveis para utilização do bambu.....	30
Figura 16 - Morfologia do bambu.....	31
Figura 17 - Ponte em bambu na Colômbia.....	38
Figura 18 - Ponte em bambu na China	38
Figura 19 - Provetes submetidos a ensaio de tracção.....	43
Figura 20 - Equipamento de ensaios à tracção	44
Figura 21 - Efeito de tratamentos aplicados às partículas de bambu (D. giganteus) para a produção de compósitos à base de dois tipos de cimento (CP-II-E-32 e CP-V-ARI).....	49
Figura 22 - Ensaio de compressão simples no compósito bambu e cimento.....	50

Figura 23 - Efeito da adição de partículas de bambu na resistência compressão do compósito gesso-bambu.....	52
Figura 24 - Representação esquemática do comportamento em flexão de três pontos: (a) gesso puro (b) compostos de gesso - fibra de sisal (Jorillo, et al., 1995).	55
Figura 25 - Armazenamento das canas de bambu, nas instalações da Bambuparque, utilizadas no estudo	56
Figura 26 - Cana de <i>Phyllostachus pubescens</i> utilizada no estudo	56
Figura 27 - Partículas de bambu à saída do triturador de eixo único.....	57
Figura 28 - Canas de bambu no triturador de eixo único.....	57
Figura 29 - Partículas de bambu após lavagem e peneiração	57
Figura 30 - Adjuvante superplastificante / redutor de água de alta gama	59
Figura 31 - Adjuvante Introdutor de ar – Sika ERA-5	60
Figura 32 - Utilização de amido na produção das placas de ensaio	61
Figura 33 - Papel utilizado na produção de gesso laminado – 190g/m ²	62
Figura 34 - Determinação empírica da relação de água / gesso.....	64
Figura 35 - Amostras com 15% e 40% de bambu, respectivamente.....	65
Figura 36 - Determinação empírica da relação água/gesso na argamassa com 15% de bambu	66
Figura 37 - Resultado final do estudo da relação de água/gesso	66
Figura 38 - Molde de madeira para execução das placas de gesso	68
Figura 39 - Molde para produção das placas revestido com filme plástico.....	69
Figura 40 - Produção de placas de gesso laminado em meio industrial.....	69
Figura 41 - Esquema de prensagem para adesão do papel ao gesso	70
Figura 42 - Secagem das placas em laboratório, estufa com ventilação de ar forçada.....	71
Figura 43 - Pesagem das placas após secagem em estufa	71

Figura 44 - Molde em aço inoxidável para provetes cúbicos - Ensaio compressão.....	72
Figura 45 - Ensaio flexão estática	74
Figura 46 - Prensa hidráulica de accionamento eléctrico de ensaio universal.....	75
Figura 47 - Analisador de humidade AnD MX-50	76
Figura 48 - Esquema gráfico da análise de humidade ao gesso	77
Figura 49- Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo de controlo.....	79
Figura 50 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo Com Bambu	81
Figura 51- Gráfico do ensaio de flexão às amostras controlo (SEM Bambu).....	86
Figura 52 - Valores máximos da força de rotura (ensaio flexão) – SEM Bambu.....	86
Figura 53 - Gráfico do ensaio de flexão às amostras COM Bambu.....	87
Figura 54 - Fissura em placa de gesso e bambu após ensaio	88
Figura 55 - Placa de gesso e bambu partida com recurso a força muscular após ensaio....	88
Figura 56 - Valores máximos da força de rotura (ensaio flexão) – COM Bambu.....	88
Figura 57 - Análise humidade – Amostras Controlo.....	90
Figura 58 - Análise humidade – Amostras COM Bambu.....	91
Figura 59 - Ensaio de compressão; provetes de controlo.....	93

ÍNDICE DE QUADROS

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas do bambu tropical <i>Guadua Angustifolia</i>	2
Tabela 2 - Propriedades físicas do mineral gipsita	4
Tabela 3 - Resumo de designações do desempenho de cada tipo de placa	24
Tabela 4 - Valores mínimos da carga de rotura à flexão para placas de gesso laminado dos tipos A,D,E,F,H e I; UNE – EN 520:2005+A1:2010.....	28
Tabela 5 - Valores mínimos da carga de rotura à flexão para placas de gesso laminado do tipo R; UNE – EN 520:2005+A1:2010	29
Tabela 6 - Características de algumas espécies com maior interesse na construção civil... 32	
Tabela 7 - Quadro resumo de características da espécie <i>Phyllostachys pubescens</i>	37
Tabela 8 - Relação entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais.	42
Tabela 9 - Resistência dos bambus à flexão	46
Tabela 10- Características técnicas do pó de Gesso.....	64
Tabela 11 - Características do analisador de humidade AnD MX-50	76
Tabela 12 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo controlo.....	81
Tabela 13 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo Com Bambu.....	82
Tabela 14 - Valores médios e desvio padrão do controlo de água após secagem.	83
Tabela 15 - Carga e tensão de rotura - Amostras controlo.....	89
Tabela 16 - Carga e tensão de rotura - Amostras Com Bambu.....	89
Tabela 17 - Resultados da análise de humidade.....	92
Tabela 18 - Resultados do ensaio de compressão	93
Tabela 19 - Análise estatística, ensaio de compressão	94

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A - Ensaio de flexão – Amostras controlo.....	104
Anexo B - Ensaio de flexão – Amostras com bambu	105
Anexo C – Resultados da análise de humidade – Amostras controlo.....	106
Anexo D – Resultados da análise de humidade – Amostras com Bambu.....	108
Anexo E – Ficha de características SIKA-AER®.....	108
Anexo F – Ficha de características SIKA® VISCOCRETE® G-2	108

Lista de abreviaturas

μm	Micrómetro
mm	Milímetro
cm	Centímetro
m	Metro
$^{\circ}\text{C}$	Grau centígrado
kg	Quilograma
g	Grama
yg	Yoctograma
ml	Mililitro
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
N	Newton
h	Hora
min	Minuto
s	Segundo
MPa	Megapascal
Pa	Pascal

W	Watt
Wh	Watt hora
cal	Caloria

1. INTRODUÇÃO GERAL

A procura de um desenvolvimento sustentável aplicado aos materiais na indústria da construção civil não é cada vez mais, uma preocupação real para a indústria da construção a nível mundial. As actividades relacionadas com esta provocam um grande impacto ambiental, o sector consome individualmente a maior parte dos recursos naturais existentes. Tal facto tem vindo a incentivar novas pesquisas, visando a preservação da natureza e a melhoria da qualidade de vida do homem, com recurso a materiais alternativos. Na procura de soluções que possam responder aos actuais desafios há um crescente interesse na procura por materiais alternativos que possam auxiliar à preservação da natureza e à melhoria da qualidade de vida das espécies. Surge assim o interesse em atribuir uma nova aplicação à planta já conhecida como tendo mil e uma, o bambu.

As características físicas do bambu, o seu baixo custo, facilidade de obtenção, e forma geométrica peculiar tornam-no largamente utilizado como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia. Além de ser um substituto da madeira pela sua durabilidade e múltipla funcionalidade, seu cultivo não causa danos ao meio ambiente.

O bambu é um dos materiais de construção mais antigos no mundo, as populações das regiões tropicais na Ásia, Oceânia e América do Sul, de onde as mais de 1000 espécies de bambu são originárias, souberam aproveitar as múltiplas qualidades deste material secular, não só na construção mas também na alimentação, produção têxtil, ornamentação, produção de pasta de papel e ainda medicinal.

Sendo o bambu uma planta com mais de 1000 espécies diferentes, nem todas são utilizáveis na construção. Os géneros tropicais *Bambusa*, *Chusquea*, *Dendrocalamus*, *Gigantochloa*,

Guadua, *Melocanna* e *Otatea*, e os géneros temperados *Phyllostachys* (utilizado neste estudo) e *Pseudosasa* agregam as espécies adequadas para a construção. Como exemplo, seguem algumas das propriedades físicas e mecânicas do bambu tropical *Guadua Angustifolia*, considerado um dos melhores bambus para usos construtivos:

Tabela 1 - Propriedades físicas e mecânicas do bambu tropical *Guadua Angustifolia* (Pereira, et al., 2008)

Resistência média à tração	87MPa
Módulo de elasticidade médio	15,1GPa
Resistência média à compressão	29,5MPa
Módulo de elasticidade médio à compressão	12,6GPa
Resistência média de cisalhamento	87MPa

Bambu é um recurso inesgotável, cuja alta taxa de crescimento que permite uma rotatividade de colheita de seis meses a um ano e representa uma fonte de biomassa significativa podendo esta ser utilizada para produção de energia.

O bambu tem sido ainda usado desde 1999 em Portugal em sistemas de fitotratamento de águas residuais demonstrando um melhor desempenho que as plantas tradicionalmente usadas nesta tecnologia (*Phragmites Australis*). Algumas das suas vantagens são o seu mesmo nível de tratamento, menor densidade de plantação (1 planta/m² em vez de 6 a 11 plantas/m²), mantêm-se verdes todo o ano enquanto as *Phragmites Australis* ficam castanhas durante o inverno, menor vulnerabilidade à competição de outras plantas e menor necessidade de manutenção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica efectuada aborda temas sobre a utilização de materiais aglomerados de cimento ou gesso com fibras naturais, onde ficou evidenciada a escassez de dados encontrados na literatura científica sobretudo inerentes à interacção de partículas de bambu com gesso. Artigos técnicos, dissertações e teses de doutoramento também foram consultados para a realização desta revisão.

O bambu, devido à falta de divulgação no meio ocidental é aqui abordado sobre uma forma mais extensa, envolvendo desde seu processo de produção até à sua utilização final, focando as suas propriedades físicas e químicas numa análise que permite evidenciar o seu potencial como um material de construção.

2.1. GIPSITA

O minério de gesso (gipsita), formado entre 100 e 200 milhões de anos atrás, está presente em grande parte da superfície terrestre. Sua extracção não gera resíduos tóxicos e requer pouca interferência na superfície.

Mineral abundante na natureza, a gipsita é um sulfato de cálcio hidratado cuja fórmula química é $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, que geralmente ocorre associado à anidrita, sulfato de cálcio anidro CaSO_4 (Ralph, 2005).

A gipsita é uma rocha sedimentar composta basicamente por sulfato de cálcio. Os depósitos de gipsita, matéria-prima utilizada para a produção de gesso, têm sua origem na precipitação do sulfato de cálcio contido em águas marinhas submetidas à evaporação (PEREIRA, 1973).

Tabela 2 - Propriedades físicas do mineral gipsita (Dana, 1976).

Dureza na escala de Mohs	2
Densidade [g/cm ³]	2,35
Índice de refração	1,53
Cor (depende do grau impurezas contidas nos cristais)	Incolor, branca, amarela, cinza e avermelhada
Brilho	Perláceo
Clivagem	1 perfeita e 2 indistintas
Fratura	Fibrosa
Transparência	Transparente e translúcido
Hábito	Fibroso, tabular
Traço	Branco
Morfologia e tamanho dos cristais	Varia de acordo com as condições e ambientes de formação

A sua composição química média apresenta 32,5% de óxido de cálcio ou cal viva (CaO), 46,6% de trióxido de enxofre (SO₃) e 20,9% de água (H₂O). Trata-se de um mineral muito pouco resistente que, sob a acção do calor (cerca de 160°C), desidrata-se parcialmente, originando um semi-hidrato conhecido comercialmente como gesso (CaSO₄ · ½H₂O). Os termos “gipsita”, “gipso” e “gesso”, são frequentemente usados como sinónimos. Contudo, a denominação gipsita é reconhecidamente a mais adequada ao mineral em estado natural, enquanto gesso é o termo mais apropriado para designar o produto calcinado (Sobrinho, et al., 2001).

2.2. GESSO

O gesso é um produto que se utiliza na construção há séculos. É resistente à deformação, incombustível, quimicamente neutro e livre de substância nocivas; portanto é um material de construção inócuo, fácil de trabalhar e aplicar. O gesso mantém um equilíbrio

higrométrico relativamente à humidade ambiente, contribuindo para criar uma atmosfera saudável e agradável.

O gesso é um aglomerante produzido a partir da gipsita (também denominada por pedra de gesso), composto basicamente de sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). É um material branco fino que em contacto com a água se hidrata, num processo exotérmico, formando um produto, não hidráulico e rígido. Encontra a sua maior aplicação na indústria da construção civil, embora também seja muito utilizado na confecção de moldes para as indústrias cerâmica, metalúrgica e de plásticos; em moldes artísticos, ortopédicos e dentários; como agente desidratante; como aglomerante do giz entre outros.

2.2.1. PROCESSO DE OBTENÇÃO DO GESSO POR EXTRAÇÃO DO MINÉRIO GIPSITA

A produção de gesso é feita mediante a calcinação controlada da gipsita bruta em fornos específicos de diversos tipos. A produção do gesso dá-se pela extracção e calcinação da gipsita, mineral natural produzido pela evaporação de mares. As fábricas de placas de gesso e outros derivados da gipsita são instalações limpas, que somente libertam vapor de água para a atmosfera.

2.2.1.1. EXTRAÇÃO DO MINÉRIO

A produção de gesso, em escala industrial, envolve basicamente cinco etapas: extracção da gipsita; fragmentação; calcinação, pulverização e embalamento. No caso do minério se encontrar praticamente à superfície ou em profundidades até vinte metros, a extracção da gipsita envolve equipamentos convencionais de extracção de minério, e o desmonte é realizado com explosivos convencionais com explosões controladas que criam uma grande variedade na dimensão dos blocos.

2.2.1.2. FRAGMENTAÇÃO

Após a extração, os blocos de gipsita são britados até se obter a granulometria necessária para o forno de calcinação. O minério é reduzido a tamanhos que não ultrapassam os vinte milímetros, através da utilização de moinhos de impacto e de mandíbulas, muito eficazes com este tipo de rocha. A homogeneização do tamanho do minério permite uma maior regularidade no processo industrial de produção. Na Figura 1 mostra-se um pequeno britador de martelo que pode ser usado na fragmentação da gipsita.

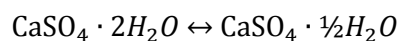


Figura 1 - Britador de martelo de etapa simples

2.2.1.3. CALCINAÇÃO

O gesso é o resultado do processo de calcinação a que a gipsita é sujeita. Esta pode ser feita em fornos simples ou industriais. A calcinação é a fase mais importante do processo produtivo do gesso, exigindo condições termodinâmicas e cinéticas bem definidas para cada tipo de produto desejado. A gipsita, em sua forma natural Sulfato de Cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), normalmente está associada às impurezas como óxidos metálicos. Quando encontrado sob forma de anidrita (CaSO_4), não tem muito valor industrial uma vez que sua estrutura é estável e não susceptível à decomposição térmica.

A gipsita quando processada adequadamente, decompõe-se, segundo a reacção:



transformando-se em hemi-hidratado, nas suas morfologias alfa (α) ou beta (β). A temperatura teórica para que a reacção de desidratação ocorra é de 106°C , porém a velocidade da reacção será razoável. Considerando a produção industrial, indicam-se temperaturas superiores: entre os 145 a 170°C (SANTOS, 1999).

Há dois tipos de gesso hemi-hidratado: Alfa (α) e Beta (β), dependendo se o processo de calcinação seja feito por via seca ou húmida. Se a gipsita for calcinada a seco sob pressão atmosférica, ou baixa pressão, será obtido o hemidrato “ β ”. Caso a calcinação ocorra sob pressão de vapor de água saturante, será obtido o hemihidrato “ α ”. Devido ao menor tempo de presa, maior resistência mecânica e custo mais elevado, o hemihidrato α tem sua maior utilização como gesso hospitalar. Ao passo que o “ β ”, com custo de produção mais baixo, predomina no gesso de construção civil (Cincotto, et al., 1988).

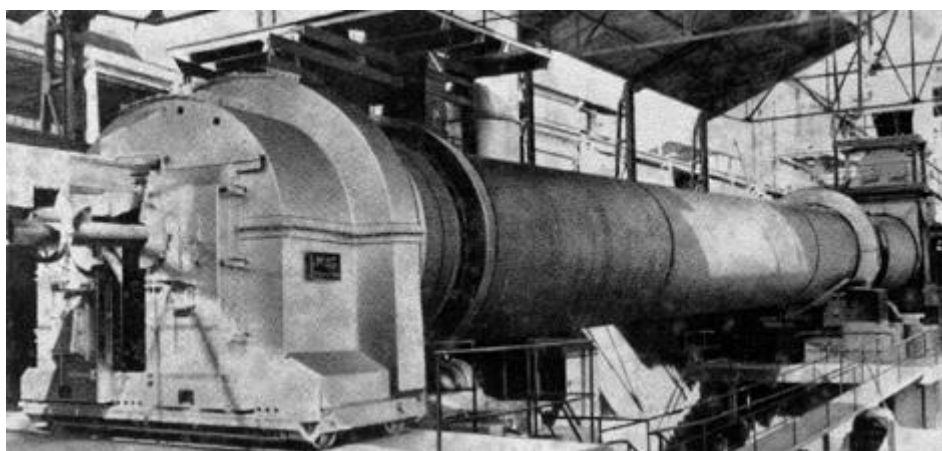


Figura 2 - Forno rotativo para calcinação da Gipsita

Dependendo da temperatura de calcinação obtêm-se diferentes tipos de gesso. Se a gipsita é calcinada numa faixa de temperatura da ordem de 140°C a 160°C , obtêm-se o hemi-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$).

A anidrita III (CaSO_4) é obtida entre os 160°C e 200°C , e pode conter água de cristalização, embora em baixo teor. Esta fase é solúvel, como o hemihidrato, porém instável, transformando-se em hemihidrato com a humidade do ar. Quando a calcinação ocorre em temperaturas de 250°C a 800°C obtém-se a anidrita II (CaSO_4) cuja velocidade de hidratação é lenta. Se a temperatura de queima for acima de 800°C , chega-se à anidrita I (Nolhier, 1986) (Cincotto, et al., 1988).

2.2.1.4. PULVERIZAÇÃO E EMBALAMENTO

O gesso em forma de pó fino é obtido passando o material calcinado por moinhos especiais combinados com crivos que asseguram uma granulometria adequada para a sua aplicação. O material moído é seleccionado em fracções granulométricas e classificado de acordo com o tempo de presa, e embalado em sacos de papel multifolhados de acordo com as normas EN 13279-1: 2008.

2.2.2. GESSOS SINTÉTICOS

A procura por novas formas de reaproveitar resíduos da construção ou subprodutos de processos químicos conduziu ao aparecimento dos gessos sintéticos ou vulgarmente designados por gessos “reciclados”.

Os países mais desenvolvidos, com problemas de ordem ambiental gravíssimos, incentivam em muito o uso destes subprodutos na sua produção industrial de gesso como alternativa à extracção do minério.

2.2.2.1. REA GYPSUM (GESSO FGD)

Na Europa é muito comum a queima de carvão mineral na produção de energia eléctrica em centrais termoeléctricas. Para diminuir a poluição atmosférica, os gases emitidos são lavados em solução de carbonato de cálcio. A reacção química da lavagem combina o

enxofre contido no carvão com o cálcio, precipitando assim um fino pó de sulfato de cálcio (gesso sintético). Trata-se de um gesso sintético de aparência suja que é consumido, em sua maioria, na construção civil (Bernardo Höhl, 1998).

2.2.2.2. FOSFO-GESSO

O termo fosfogesso é frequentemente referenciado na literatura técnica como subproduto de gesso, gesso químico, resíduo de gesso, gesso agrícola ou gesso sintético. Por conter resíduos de fósforo na sua composição (0,7% a 0,9%) este é designado por fosfogesso (NUERNBERG, 2005).

O composto químico fosfogesso é um resíduo da produção de ácido fosfórico (P_2O_5), matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados. A sua produção é em proporções de 4 a 6 vezes maior que a do próprio ácido fosfórico, sendo assim considerado um grande passivo ambiental para as empresas produtoras de fertilizantes.

Em alguns países onde não são escassas as reservas de gesso, o fosfogesso tem um valor económico altamente competitivo em relação ao gesso, como por exemplo no Japão, onde o material é utilizado como gesso na produção de artefactos para a construção civil (BARTL e ALBUQUERQUE, 1992).

2.2.2.3. GESSO QUÍMICO

Obtido como subproduto de reacções na purificação do ácido fosfórico e produção de ácido cítrico e láctico (Höhl, 2010).

As propriedades específicas do gesso como a elevada plasticidade da pasta, presa e endurecimento rápido, granulometria equivalente à do cimento, baixo nível de retracção na secagem e estabilidade volumétrica, garantem um desempenho satisfatório quando utilizado como aglomerante na produção de prefabricados ou aplicado como revestimento.

A propriedade de absorver e libertar humidade do ambiente confere aos revestimentos à base de gesso um elevado poder de equilíbrio higroscópico, além de funcionar como inibidor da propagação do fogo, libertando moléculas de água quando em contacto com este.

Por outro lado, devido a solubilidade dos produtos de gesso (1,8 g/l), a utilização destes fica restrito a ambientes interiores, onde não ocorra o contacto directo e constante com água (áreas molhadas) e desde que se considerem certos cuidados, tais como: o alto poder oxidante do gesso quando em contacto com componentes ferrosos; o alto poder expansivo das moléculas de etringita, formadas pela associação do gesso com o cimento em fase de hidratação; diminuição da resistência com o grau de humidade absorvida; a solubilidade e lixiviação com a percolação de água constante (Höhl, 2010).

2.2.3. PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DO GESSO

A água fixa ou água de cristalização, representada pelas duas moléculas de água ($2H_2O$) contidas na molécula da gipsita não pode ser confundida com a percentagem de humidade no minério. A água fixa ou combinada só evapora a temperaturas que excedam $106^{\circ}C$ quando acontece a formação do gesso. Por outro lado, toda a humidade da gipsita pode ser removida aquecendo-a a $40^{\circ}C$ (água livre).

O gesso após re-hidratado e seco apresenta características físicas que dependem de variáveis associadas às condições de produção do gesso e variáveis associadas à manipulação e preparação da pasta. Assim algumas características físicas podem ser analisadas:

2.2.3.1. CONSISTÊNCIA

A relação água/gesso, conhecida como consistência, é a mais básica das informações para se prever o comportamento do gesso. A relação água/gesso influencia directamente a

absorção, dureza, porosidade, tempo de expansão, e outras características físicas de gesso após hidratação e secagem;

2.2.3.2. ABSORÇÃO

A capacidade de o gesso absorver água é muito importante no processo da moldagem das peças. Uma taxa de absorção anormalmente rápida torna difícil a moldagem, enfraquece o material que depois de endurecido apresenta imperfeições de superfície.

2.2.3.3. PH

O Gesso é levemente ácido, apresenta um pH de solução de aproximadamente 6,5.

2.2.3.4. DENSIDADE

A Gipsita apresenta um peso específico aproximado entre 2254 a 2334 kg/m³. A gipsita triturada tem um peso específico que varia entre 1200 e 2300 kg/m³ (PERES, 1982). O Gesso calcinado apresenta densidade entre 885 e 1127 kg/m³.

2.2.3.5. ÍNDICE DE REFRACÇÃO

Situa-se entre 1,520 a 1,529.

2.2.3.6. COR

A gipsita apresenta várias cores e tonalidades como, por exemplo, branca ou incolor quando pura e variando entre cinza e preta, cor-de-rosa clara a vermelho e castanho, dependendo do grau de impurezas. Já a cor de gesso quando refinado em pó é branca excepto em variedades muito impuras, atingindo uma coloração cinza.

2.2.3.7. SOLUBILIDADE

Gesso é solúvel em nitratos e ácidos clorídricos. É ligeiramente solúvel em água; 100 partes de água a 20°C dissolverão 0,222 partes de gesso. O Gesso é quase insolúvel em ácido sulfúrico.

2.2.3.8. TEMPO DE PRESA

O tempo de início de presa deve ser entendido como o intervalo de tempo entre a mistura do gesso com a água e o instante em que começa o processo de endurecimento do material. A partir daí, a pasta já não deve ser manuseada sob o risco de se quebrarem os cristais já formados.

A relação água/gesso, é o parâmetro de maior influência na cinética da reacção de hidratação e conseqüentemente, na presa do gesso.

Quanto maior a quantidade de água da amassadura, maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução. Isto causa a ampliação do período de indução retardando o início da precipitação dos cristais de dihidrato e, por conseguinte, aumenta o tempo de presa.

2.2.4. FACTORES QUE INFLUEM O TEMPO DE PRESA E A EXPANSÃO

O controlo do tempo de presa é geralmente realizado alterando-se um ou mais dos seguintes factores:

Tempo de mistura: Aumentando o tempo da mistura (dentro dos limites práticos) o tempo de presa será diminuído. Isto acontece porque serão criados mais núcleos de cristalização por volume de unidade. Quanto maior for o número de núcleos de cristalização, mais rápido os cristais de dihidrato serão formados e mais rápido o material se fixará à malha interna dos cristais.

Relação água/gesso (a/g): Diminuindo a relação de a/g o tempo de presa diminuirá também porque mais núcleos de cristalização de dihidrato por unidade de volume são criados.

Temperatura: Aumentando-se a temperatura da mistura de água, diminui-se o tempo de presa, porque a taxa de difusão dos íons também aumenta acelerando então, a taxa de reacção. Acima de 50°C, o efeito torna-se contrário porque a solubilidade de hemihidrato comparado com o dihidrato diminui. O hemihidrato normalmente é 4,5 vezes mais solúvel que o dihidrato a 20 °C e isto condiciona a velocidade da reacção. Quando a temperatura da mistura da água exceder 100 °C, a reacção não ocorre porque a taxa de solubilidade para o hemihidrato e dihidrato é a mesma.

Aceleradores e Retardadores: Este método mais prático de se controlar a taxa de reacção e o tempo de presa. Um acelerador é o sulfato de potássio (K_2SO_4). Outro acelerador é o cloreto de sódio (NaCl), que em uma concentração de menos de 20% actua aumentando a solubilidade do hemihidrato. Um retardador bem conhecido de gesso é bórax (sal de boro) que age formando uma camada no hemihidrato e nas partículas de dihidrato, isto reduz a solubilidade inibindo seu crescimento.

Materiais coloidais: Sangue, saliva, agarose (polissacarídeo presente no bambo), actua prolongando o tempo de presa afectando os núcleos de cristalização das partículas de dihidrato.

Gesso: O sulfato de cálcio dihidratado em sua forma de pasta na mistura com água actua como um forte acelerador de presa porque fornece núcleos de cristalização do dihidrato (Ryge, et al., 1955) (Mahler, et al., 1960).

Como já referido, as argamassas de gesso expandem-se durante a presa, principalmente porque os cristais de dihidrato se empurram uns contra os outros durante a sua formação.

Muitos factores podem alterar o índice de Expansão, dos quais de enunciam:

Tempo de mistura: Aumentando o tempo da mistura dentro de limites práticos, crescerá o índice de expansão, aumentando o número de núcleos de cristalização das partículas de dihidrato.

Relação de água/gesso (a/g): Diminuindo a relação a/g aumenta a expansão aumentando também o número de núcleos de cristalização das partículas de dihidrato.

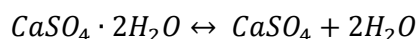
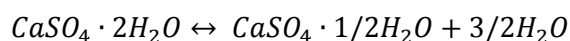
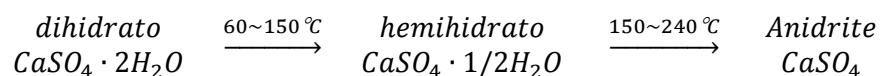
Aceleradores e Retardadores: Aceleradores e retardadores não só afectam o tempo de presa como actuam na expansão do gesso. Ambos diminuem a expansão mudando a forma dos cristais de dihidrato em desenvolvimento (Ryge, et al., 1955) (Mahler, et al., 1960).

Resumindo, pode dizer-se que:

- Aumentando o tempo de mistura ou diminuindo a relação a/g provoca a redução do tempo de presa e aumenta o índice de expansão.
- Aceleradores e retardadores encurtam ou prolongam o tempo de presa (dependendo de qual material é adicionado), porém ambos diminuem a resistência à compressão e a expansão mudando o aspecto dos cristais de dihidrato formados.
- Material Coloidal não só aumenta o tempo de presa como resulta num produto mais fraco, alterando os núcleos de cristalização.
- Cloreto de cálcio e a contaminação de argila na mistura com água actuam como um potente acelerador de presa na reacção, mas não afectam sua resistência ou expansão. (Ryge, et al., 1955) (Mahler, et al., 1960).

2.2.5. ÁGUA NO GESSO: ÁGUA LIVRE (AL) E ÁGUA COMBINADA (AC)

As características térmicas do gesso produzem as seguintes alterações térmicas:



Estas são as reacções de equilíbrio. O endurecimento do gesso calcinado amassado em água indica a transição de hemihidrato de gesso para gesso cristalino (gesso dihidratado).

Água livre: é aquela fracamente ligada, funcionando como solvente, permitindo a reacção química, sendo eliminada facilmente com recurso a baixas temperaturas;

Água combinada: fortemente ligada e por conseguinte mais difícil de ser eliminada; é a água quimicamente combinada com a substância de tal forma que apenas pode ser removida com recurso ao aquecimento, sem alteração substancial da composição química da substância.

2.3. GESSO LAMINADO

2.3.1. PLACAS DE GESSO LAMINADO

Gesso laminado é o nome da família de produtos do tipo painéis que consistem num núcleo incombustível, constituído essencialmente por gesso, com uma superfície de papel em ambas as faces e bordo longo.

O gesso laminado, muitas vezes designado de placa de gesso, gesso cartonado ou *Pladur*, (numa das suas inúmeras denominações comerciais), difere de produtos como aglomerados e laminados de madeira, devido às características incombustíveis do seu núcleo. O sistema foi desenvolvido de modo a obter-se uma superfície monolítica quando as juntas e topos de

fecho são recobertos com um sistema de tratamento comum (fita, argamassa, perfis de remate, etc).



Figura 3 - Paredes internas de uma habitação, em gesso cartonado.

Os painéis de gesso laminado devido à sua rapidez de instalação, acabamento liso e pronto a receber o revestimento final reúne as características óptimas para o tornar amplamente utilizado em espaços interiores. Além destas vantagens, é resistente ao fogo, pelo que se torna ideal para aplicações interiores em edifícios com estruturas que devam ficar protegidas, como o caso da madeira ou do aço.

“Ainda que o painel de gesso laminado seja incombustível (M1) e proporcione alguma protecção ao fogo, a sua resistência pode aumentar-se com a adição de produtos químicos ou fibra de vidro na pasta de gesso. Neste caso temos um material compósito, com outras características, nomeadamente maior dificuldade de reciclagem. O painel tratado (M0) utiliza-se apenas em solicitações especiais, sendo que no caso de habitação apenas se torna necessário em garagens ou em paredes de meação com exigências especiais de corta-fogo.

Existe também um tratamento para tornar o painel hidrófugo, para utilizações interiores em zonas húmidas da habitação, como Cozinhas e Casas de Banho e eventualmente zonas

exteriores protegidas (por exemplo tectos exteriores). A resistência à água obtém-se através duma emulsão de cera asfáltica que se combina com o gesso” (Mendonça, 2005).

Comercialmente, as dimensões de placas de gesso laminado mais usuais são: 3000; 2800; 2700; 2600; 2500; 2400; 2000mm de comprimento, por 1200mm de largura e uma espessura que pode variar entre 9,5; 12,5; 15; 18; 20; 25mm (Ibéria, 2010).

Os painéis podem ser colocados horizontal ou verticalmente, sendo que no primeiro caso a solução apresenta a vantagem de um menor número de juntas verticais, contudo requer travessas se a separação entre montantes for superior a 400mm (Peraza Sanchez, 1995).

Os painéis podem ser fixados mecanicamente, no entanto a sua reutilização é quase sempre impossível, uma vez que as fixações e as juntas ficam ocultas pelas massas e fita de papel e tornam-se assim praticamente invisíveis após o acabamento final, caso este seja bem executado. A reciclagem é possível, ainda que geralmente não se faça por questões económicas, sendo difícil separar o cartão do gesso, pelo que normalmente os resíduos vão para aterro. No entanto, tem sempre a vantagem de ser muito menor quantidade de material de resíduo do que na solução convencional de alvenaria de tijolo cerâmico vazado.

Existem diversas soluções no mercado de divisórias interiores com estrutura em perfis de aço galvanizado (também se pode utilizar madeira) e acabamento a gesso laminado, podendo esta solução ser também utilizada na face interior da parede exterior ou formando ela mesma o suporte da parede exterior, em soluções de vários tipos, na maior parte dos casos com utilização de um material de isolamento acústico na caixa-de-ar. Nas soluções de fachada exterior terá, no entanto, de se aplicar outro tipo de painel, com mais resistência mecânica e humidade.

Para efeitos de protecção ao fogo, de isolamento acústico e de resistência mecânica é recomendável a duplicação dos painéis em cada face.

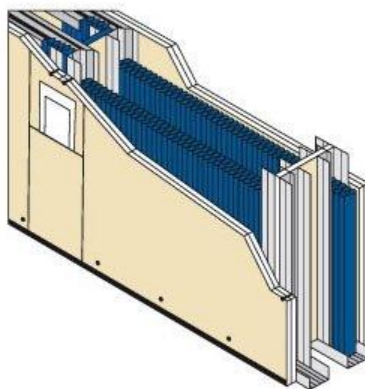


Figura 4 - Esquema de duplicação de painéis KNAUF

2.3.1.1. TIPOS COMUNS DE GESSO LAMINADO

2.3.1.1.1. STANDARD PGL - PLACA DE GESSO LAMINADO

Na sua forma mais conhecida ou combinado com outros materiais, o gesso é estético, saudável e proporciona conforto aos espaços habitáveis em qualquer uma das suas formas de aplicações, quer seja utilizado na sua forma tradicional, guarnecido, estucado ou projectado mecanicamente. Também se pode aplicar na sua forma mais fácil e mais rápida, como é a placa de gesso. A placa de gesso laminado contribui para poupar energia em combinação com os materiais isolantes clássicos.

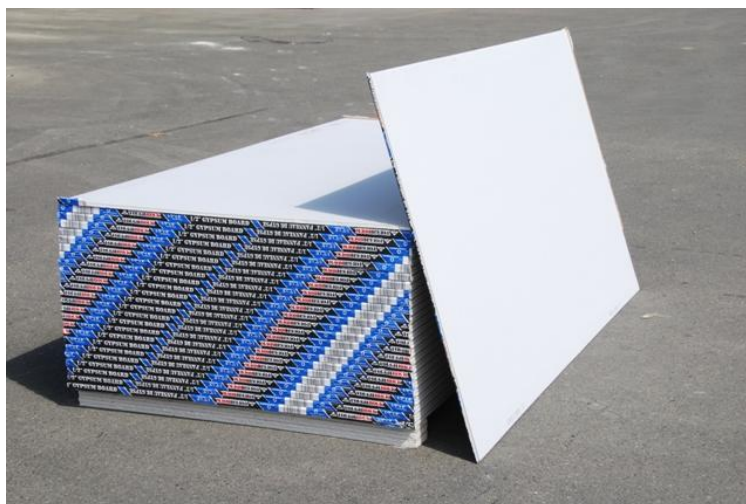


Figura 5 - Placa de gesso laminado standard

2.3.1.1.2. PLACA DE GESSO LAMINADO HIDROFUGADA

As placas de gesso laminado hidrofugadas (ou hidrófugas) são obtidas através duma emulsão de cera asfáltica que se combina com o gesso.



Figura 6 - Placas de gesso laminado hidrófugo

Uma das características do gesso consiste na sua tendência em absorver água. Esta característica embora vantajosa e satisfatória em diversos casos, como na manutenção do equilíbrio higrométrico relativamente à humidade ambiente, apresenta-se com um efeito muito negativo uma vez provoca a diminuição da resistência do produto.

O gesso laminado é frequentemente usado em zonas húmidas como quartos de banho ou coberturas como superfície sob telha cerâmica. O uso de gesso laminado em aplicações como as referidas pode resultar na deterioração da resistência do gesso caso não sejam tomadas medidas para tornar as superfícies impermeáveis.

Muitos aditivos têm sido relatados como eficazes para a transmissão de propriedades resistente à água a produtos de gesso. Exemplos de alguns aditivos resistentes à água são:

- Resinatos metálicos;
- Cera ou betume asfáltico e suas misturas;
- Mistura de cera e/ou de betume, aciano (*Centaura Cyanus*) e permanganato de potássio;
- Materiais orgânicos termoplásticos insolúveis em água, como petróleo e betumes asfálticos, piche (resíduo da destilação de alcatrão ou de petróleo), carvão e resinas termoplásticas sintéticas, tais como acetato de polivinila (PVAc), cloreto de polivinila e um copolímero de acetato de vinila e cloreto de vinila;
- Mistura de cera de petróleo sob a forma de emulsão e óleo combustível residual, ou pinheiro, piche ou alcatrão de carvão;
- Mistura de óleo combustível residual e resina;
- Isocianatos e diisocianatos aromáticos;
- Hidrogeno-organo-polissiloxano;

O uso de tais aditivos resistentes à água tem um ou mais deficiências. Por exemplo, verificou-se que o seu uso tende a conferir ao gesso diferentes graus de resistência à água, ou seja, os produtos não têm consistentemente um nível uniforme de resistência à água. Foi constatado também que algumas das emulsões divulgadas acima não são estáveis, tendem a retardar o tempo de presa do gesso, são relativamente caros e devem ser

utilizados em quantidades relativamente grandes de modo a proporcionar o desejado grau de resistência à água. Os custos envolvidos no uso desses aditivos representam uma elevada percentagem no custo global do produto de gesso.

2.3.1.1.3. PLACA DE GESSO LAMINADO ANTIFOGO (GESSO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO)

As placas de gesso reforçado com fibra de vidro têm como principal utilização os tectos falsos. A resistência do gesso reforçado com fibra de vidro é aproximadamente duas vezes superior ao gesso standard (Mendonça, 2005).



Figura 7 – Placas de gesso reforçado com fibra de vidro

Para determinar o tipo e a qualidade da fibra de vidro a utilizar nas placas de gesso, consideram-se três parâmetros: a ensimagem¹ (lubrificação), o comprimento do fio e a relação de peso entre a fibra de vidro e o produto final seco.

A ensimagem do fio poderia implicar uma dificuldade de aderência dos dois materiais durante a mistura, por isso o tipo de lubrificação deverá ser o adequado para que aderência entre o gesso e o fio ocorra. O conteúdo de fibra óptimo encontra-se entre 0.9 e

¹ A ENSIMAGEM é uma mistura de substâncias químicas aplicadas aos fios de vidro. A maior parte dessa mistura é formada essencialmente por polímeros de elevado peso molecular não reactivos.

1% em relação com o peso do gesso seco. Acima desta percentagem apresentam-se problemas de dispersão das fibras e as propriedades vêm-se notavelmente diminuídas. As medidas óptimas para o comprimento dos fios são de 12,5mm. Com estes factores a ser cumpridos, as placas apresentam, relativamente a placas de gesso sem reforço, um aumento das características de flexão (o momento flector triplica), tracção e resistência ao choque (o que se revela importante na facilidade de manipulação e transporte) (Miravete, 1994).

2.3.1.2. PROCESSO DE FABRICO

O processo de fabrico das placas de gesso laminado contempla diversas fases desde a extracção do minério até ao armazenamento.

Após a extracção da gipsita na mina, o gesso proveniente da pedreira, através da utilização de moinhos de impacto e de mandíbulas reduz-se de tamanho obtendo-se um produto com dimensão não superior a 20mm. A homogeneização do tamanho do mineral de gesso permite uma maior regularidade no processo de produção industrial e um produto mais adequado para alimentar a prensagem.

O gesso que sai da britadeira é armazenado em silos que, além de servirem de local de armazenamento, permite homogeneizar as variações da qualidade do gesso que provêm das pedreiras, de tal forma que a pureza do gesso que alimenta o moinho tem um controlo constante.

Seguidamente, o gesso é submetido à compressão entre cilindros e um prato de prensagem, reduzindo o seu tamanho progressivamente até uns 200 μ m, tamanho adequado para ser calcinado e posteriormente formar o gesso para o fabrico de placas.

As instalações de trituração e prensagem são isoladas, pelo que não existe saída de pó nem de ar para o exterior. Todo o pó é arrastado por uma corrente de ar que passa através de uns filtros que o retém deixando passar apenas o ar limpo para o exterior permitindo ter locais de trabalho limpos e saudáveis.

Através da calcinação, processo de aquecimento do gesso a 160 °C durante cerca de 30 minutos, o gesso adquire a propriedade hidráulica, ou seja, amassado com água torna-se duro passados uns minutos. Esta propriedade é a que permite o fabrico e a moldagem das placas laminadas. O ar quente que sai do processo de calcinação pode utilizar-se para aquecer e eliminar a humidade do gesso na prensagem, aproveitando assim a temperatura residual deste ar optimizando a produção.

Na linha de produção das placas, ao gesso em pó calcinado acrescenta-se água e aditivos com que se forma uma pasta (gesso) que solidifica em poucos minutos. Através da maquinaria na linha de produção, a pasta é então espalhada inicialmente sobre uma folha de papel, sendo submetida a um processo de vibração. Tal acção é realizada para expulsar as bolhas de ar internas à pasta, evitando que a placa fique com vazios, o que comprometeria a resistência mecânica. Uma outra folha de papel cobre a pasta, formando um núcleo de gesso entre duas camadas de papel obtendo-se a placa de gesso laminado. A seguir, esta placa é cortada à medida adequada, seca-se num forno e é armazenada, terminando assim o processo de fabrico.

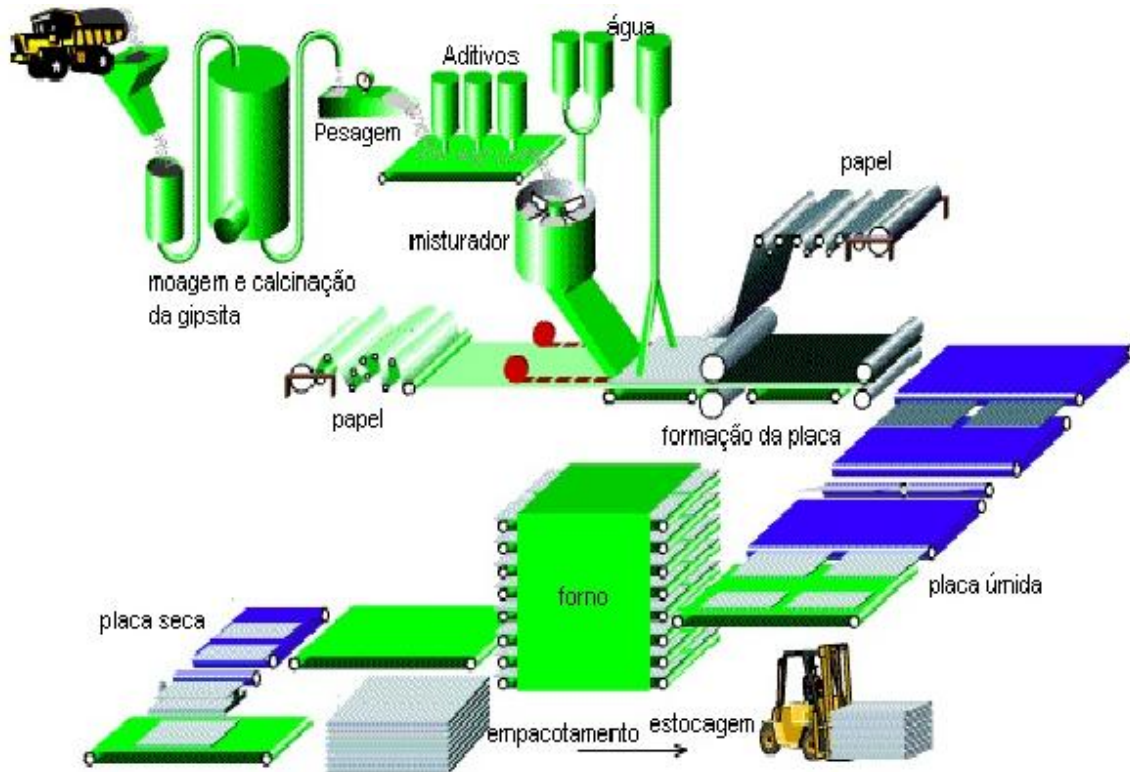


Figura 8 -Processo de fabrico das placas de gesso adaptado de LAFARGE CORPORATION

2.3.1.3. ESPECIFICAÇÕES DA NORMA UNE-EN 520:2005+A1:2010

2.3.1.3.1. TIPOS DE PLACAS DE GESSO LAMINADO

A norma descreve diversos desempenhos de placas de gesso laminado, esses podem combinar-se para designar uma só placa e nesse caso, a designação deve incluir a letra de cada tipo de desempenho.

Tabela 3 - Resumo de designações do desempenho de cada tipo de placa

Tipo A	Standard	Tipo P	Standard com face preparada para receber revestimentos sob a forma de painel
Tipo H	Capacidade de absorção de água reduzida	Tipo D	Densidade controlada

Tipo E	Utilização exterior	Tipo R	Resistência melhorada
Tipo F	Coesão da alma melhorada a altas temperaturas	Tipo I	Dureza superficial melhorada ou de alta dureza

2.3.1.3.1.1. PLACA DE GESSO LAMINADO DO TIPO A:

Placa base (standard) de gesso laminado, numa das faces pode aplicar-se um revestimento decorativo ou argamassas à base de gesso.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como de Tipo A.

2.3.1.3.1.2. PLACA DE GESSO LAMINADO DO TIPO H (PLACA DE GESSO LAMINADO COM CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA REDUZIDA):

Tipo de placas que levam aditivos para reduzir a capacidade de absorção de água. Podem ser adequadas para aplicações especiais onde se exijam propriedades de absorção de água reduzidas para melhorar as prestações das placas.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo H1, H2 e H3, dependendo da sua capacidade de absorção de água.

2.3.1.3.1.3. PLACA DE GESSO LAMINADO DO TIPO E (PLACA DE GESSO PARA EXTERIORES):

Placas especialmente concebidas para utilização em revestimentos de paramentos exteriores. Não prevê a utilização de acabamento final posterior à sua colocação. Estas placas não são concebidas para permanecerem expostas permanentemente a condições ambientais exteriores. Este tipo de placa tem uma capacidade de absorção de água reduzida e a permeabilidade ao vapor de água deve ser mínimo.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo E.

2.3.1.3.1.4. PLACA DE GESSO LAMINADO DO TIPO F (PLACA DE GESSO LAMINADO COM COESÃO DA ALMA MELHORADA A ALTAS TEMPERATURAS):

Placas com uma face sobre a qual se pode aplicar um revestimento decorativo ou argamassas à base de gesso. Estas placas têm incorporadas fibras minerais e/ou outros aditivos na sua alma em gesso de modo a melhorar a sua coesão quando expostas a temperaturas altas.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo F.

2.3.1.3.1.5. PLACA DE GESSO LAMINADO DO TIPO P:

Placas que têm uma face preparada para receber argamassas à base de gesso, ou para ser combinada por colagem com outros materiais como placas cerâmicas, painéis ou outro tipo de revestimentos sob a forma de painel. No caso das placas destinadas a receber um acabamento à base de gesso os bordos são quadrados ou redondos.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo P.

2.3.1.3.1.6. PLACAS DE GESSO LAMINADO DO TIPO D (PLACA DE GESSO LAMINADO COM DENSIDADE CONTROLADA):

Placas com uma face sobre a qual se pode aplicar um revestimento decorativo ou argamassas à base de gesso. Apresentam uma densidade controlada que permite melhorar as prestações em algumas aplicações específicas.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo D.

2.3.1.3.1.7. PLACAS DE GESSO LAMINADO DO TIPO R (PLACA DE GESSO LAMINADO COM RESISTÊNCIA MELHORADA):

Placas utilizadas em aplicações onde se requeira uma resistência mais elevada a cargas de rotura, tanto no sentido longitudinal como transversal. Placas com uma face sobre a qual se pode aplicar um revestimento decorativo ou argamassas à base de gesso.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo R.

2.3.1.3.1.8. PLACAS DE GESSO LAMINADO DO TIPO I (PLACAS DE GESSO LAMINADO COM DUREZA SUPERFICIAL MELHORADA OU DE ALTA DUREZA):

Placas que se utilizam em aplicações onde seja requerida uma maior dureza superficial. Placas com uma face sobre a qual se pode aplicar um revestimento decorativo ou argamassas à base de gesso.

Para efeitos de identificação estas placas designam-se como Tipo I.

2.3.1.3.2. PERFIS DE BORDO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL

Existem diferentes tipos de bordo nas placas de gesso laminado. Nas placas de gesso laminado, os bordos longitudinais recobertos com cartão são do tipo quadrado, biselado, afinado, semi-arredondado, arredondado, ou uma combinação de vários de vários.

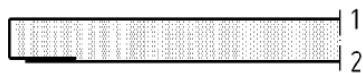


Figura 9 - Bordo longitudinal quadrado



Figura 10 - Bordo longitudinal biselado

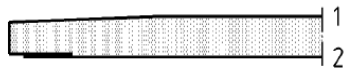


Figura 11 - Bordo longitudinal afinado



Figura 12 - Bordo longitudinal semi-arredondado

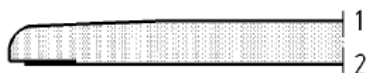


Figura 13 - Bordo longitudinal semi-arredondado afinado



Figura 14 - Bordo longitudinal arredondado

2.3.1.3.3. RESISTÊNCIA À FLEXÃO (EXPRESSA COMO CARGA DE ROTURA À FLEXÃO)

A Norma UNE – EN 520:2005+A1:2010 define que a carga de rotura à flexão nas placas de gesso laminado dos tipos A, D, E, F, H e I, determinada segundo o método de ensaio descrito não deve ser inferior aos valores indicados no Tabela 4.

Estabelece ainda que nenhum resultado individual do produto pode ser inferior a 10% do valor tabelado como mínimo.

Tabela 4 - Valores mínimos da carga de rotura à flexão para placas de gesso laminado dos tipos A,D,E,F,H e I; UNE – EN 520:2005+A1:2010

Espessuras	Espessura nominal da placa [mm]	Carga de rotura à flexão [N]	
		Transversal	Longitudinal
Comuns	9,5	160	400
	12,5	210	550
	15,0	250	650
Outras espessuras	t	16,8 x t	43 x t

Para placas com resistência melhorada (placas do tipo R) os valores da carga de rotura à flexão nas placas de gesso laminado não devem ser inferiores aos indicados no Tabela 5.

Tabela 5 - Valores mínimos da carga de rotura à flexão para placas de gesso laminado do tipo R; UNE – EN 520:2005+A1:2010

Espessuras	Espessura nominal da placa [mm]	Carga de rotura à flexão [N]	
		Transversal	Longitudinal
Comuns	9,5	160	400
	12,5	300	725
Outras espessuras	t	24 x t	58 x t

2.4. BAMBU

2.4.1. PROPRIEDADES DO BAMBU

Na China, homem e bambu estão unidos desde os tempos pré-históricos, é uma planta importante no Sudeste da Ásia, é usado como material de construção, alimento (rebentos), e como planta ornamental. É uma figura proeminente na pintura chinesa clássica. O caracter chinês para o bambu tem a representação 竹, e pronuncia-se Zhu. É uma imagem gráfica que mostra dois talos de bambu é inclusive um dos primeiros radicais da ideologia chinesa que existiu (Pereira, 2001).

A China é líder na produção mundial de bambu, tendo catalogada mais de quatro mil aplicações para a planta nas áreas de construção civil, artesanato, agricultura, irrigação, paisagismo, artesanato, produção de carvão, papel, tecido, móveis, instrumentos musicais, utensílios domésticos, estabilização de solos, regenerador ambiental, cultura, actividades diárias das populações de dentre inúmeras outras utilidades além de assumir um importante papel na economia rural de países em desenvolvimento (Hsiung, 1988).

Tanto na sua forma natural como após processamento o bambu demonstra ter diversas áreas de aplicação. A Figura 15 mostra um organograma que resume algumas dessas aplicações (Pereira, et al., 2006).

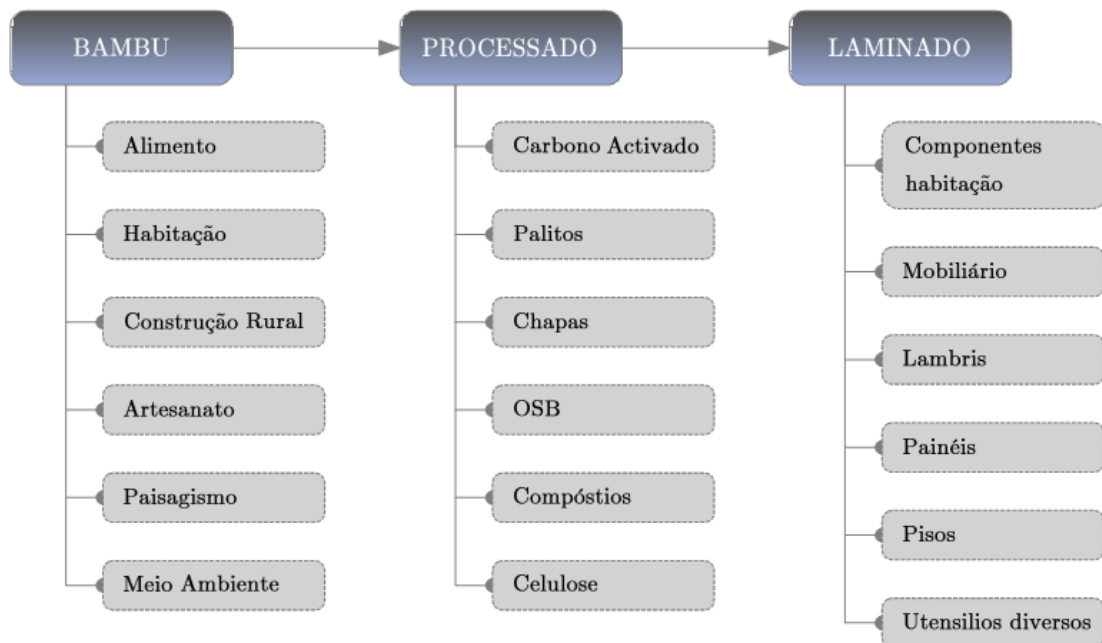


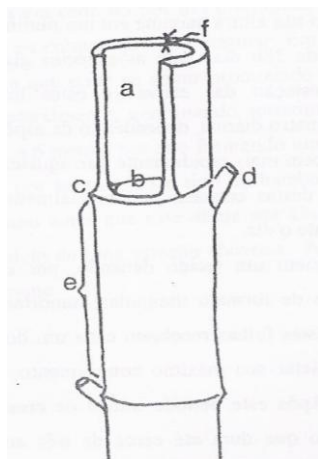
Figura 15 - Organograma de aplicações possíveis para utilização do bambu (PEREIRA 2006)

Botanicamente o Bambu é o nome que se dá às plantas da subfamília Bambusoideae, da família das gramíneas (Poaceae ou Gramineae). Essa subfamília subdivide-se em duas tribos, a Bambuseae (os bambus chamados de lenhosos) e a Olyrae (os bambus chamados herbáceos).

O ciclo de vida, de algumas espécies, está estimado entre 100 a 120 anos e são plantas que se desenvolvem muito depressa (Martins, et al., 2004).

Tal como nas árvores, o bambu é constituído por uma parte aérea e uma parte subterrânea. A parte aérea (tronco ou caule das árvores) é denominada de colmo no bambu, sendo normalmente oco. A parte subterrânea é constituída de rizoma e raízes. Os colmos do bambu caracterizam-se por ter uma forma cilíndrica e por apresentarem uma

sequência de entrenós (internós) ocultos separados transversalmente uns dos outros por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas. Estes diafragmas é que fornecem maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos sendo a parte mais resistente próxima aos nós e quanto mais espessa a parede do bambu maior a sua resistência (Pereira, 2001).



- a – cavidade
- b – diafragma
- c – nó
- d – ramo
- e – interno
- f – parede

Figura 16 - Morfologia do bambu (Pereira, 2008)

A sua resistência varia entre as espécies e são conhecidos entre 60 a 90 gêneros e 1.100 a 1.500 espécies de bambu.

2.4.2. ESPÉCIES DE BAMBU MAIS USADAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Tabela 6 - Quadro resumo de características de algumas das espécies com maior interesse na construção civil (Pereira, 2008).

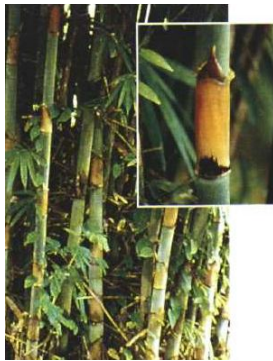
Bambusa bambos		
	Altura dos colmos	15 a 25 m
	Diâmetro dos colmos	10 a 15 cm
	Espessura da parede	10 a 15 mm
	Internós	20 a 25 cm
	Uso comum	Construção, bambu laminado colado
Bambusa blumeana		
	Altura dos colmos	15 a 20 m
	Diâmetro dos colmos	6 a 10 cm
	Espessura da parede	10 a 15 mm
	Internós	20 a 35 cm
	Uso comum	Construção, bambu laminado colado
Bambusa polymorpha		
	Altura dos colmos	Até 25 m
	Diâmetro dos colmos	Até 15 cm
	Espessura da parede	Parede fina
	Uso comum	Construção

Bambusa tulda

Altura dos colmos	Até 30 m
Diâmetro dos colmos	7 cm
Espessura da parede	Parede fina
Uso comum	Construção

Bambusa vulgaris



Altura dos colmos	15 a 25 m
Diâmetro dos colmos	6 a 15 cm
Espessura da parede	7 a 15 mm
Internós	25 a 35 cm
Uso comum	Construção




Cephalostacyium pergracile



Altura dos colmos	Até 15 m
Diâmetro dos colmos	Cerca de 7 cm
Espessura da parede	Parede fina
Uso comum	Construção temporária

Dendrocalamus asper

Altura dos colmos	20 a 30 m
Diâmetro dos colmos	8 a 20 cm
Espessura da parede	11 a 20mm
Internós	20 a 45 cm
Uso comum	Construção em meio rural

Dendrocalamus giganteus		
	Altura dos colmos	24 a 40 m
	Diâmetro dos colmos	10 a 20 cm
	Espessura da parede	10 a 30 mm
	Uso comum	Construção, bambu laminado colado (plybamboo)
Dendrocalamus latiflorus		
	Altura dos colmos	20 a 25 m
	Diâmetro dos colmos	8 a 15 cm
	Espessura da parede	Parede grossa
	Internós	35 a 45 cm
	Uso comum	Construção
Dendrocalamus strictus		
	Altura dos colmos	8 m
	Diâmetro dos colmos	5 cm
	Espessura da parede	Parede grossa (por vezes o colmo é maciço)
	Uso comum	Material de construção


Gigantochloa apus		
	Altura dos colmos	10 a 15 m
	Diâmetro dos colmos	6 a 10 cm
	Espessura da parede	Parede média
	Internós	36 a 45 cm
	Uso comum	Material de construção
Gigantochloa levis		
	Altura dos colmos	Até 30 m
	Diâmetro dos colmos	5 a 14 cm
	Espessura da parede	10 a 12 mm
	Uso comum	Construção
Gigantochloa pseudoarundinacea		
	Altura dos colmos	15 a 20 m
	Diâmetro dos colmos	6 a 10 cm
	Espessura da parede	10 a 15 mm
	Internós	36 a 45 cm
	Uso comum	Colmos fortes e valiosos para uso em construção

Guadua angustifolia		
	Altura dos colmos	Até 30 m
	Diâmetro dos colmos	Até 20 cm
	Espessura da parede	15 a 20 mm
	Uso comum	Construção para casas de baixo custo (programa habitacional no Equador)
Melocanna baccifera		
	Altura dos colmos	10 a 20 cm
	Diâmetro dos colmos	5 a 7 cm
	Espessura da parede	5 a 10 mm
	Uso comum	Material de construção

2.4.2.1. PHYLLOSTACHYS PUBESCENS OU PHYLLOSTACHYS EDULIS

Espécie de bambu alastrante, de médio porte, também conhecido como Mosô é uma das melhores espécies de bambu de clima temperado. Este bambu é a espécie que atinge maior desenvolvimento no sul de França, os seus colmos são fortes, vigorosos e rectos, adequados à ornamentação e construção.

Tabela 7 - Quadro resumo de características da espécie *Phyllostachys pubescens* (Pereira, 2008).

	Altura dos colmos	10 a 20 cm
	Diâmetro dos colmos	8 a 15 cm
	Espessura da parede	Média
	Uso comum	Material de construção

Mas, embora o bambu seja conhecido e utilizado desde os tempos pré-históricos, ele ainda não é explorado em todo o seu potencial. Em países do oriente, o bambu é explorado em diversos segmentos, sendo reconhecido como uma planta ancestral, presente na história da humanidade desde os tempos mais antigos, já no ocidente ele é bem menos conhecido.

2.4.3. FIBRA DE BAMBU

Conhecido pela sua resistência o bambu pode diminuir o custo de produção de uma habitação em madeira em cerca de 50% (NASCIMENTO, et al., 2004)(Martins, et al., 2004). Os exemplos mais antigos da utilização do bambu na arquitetura encontram-se na Ásia, na construção de templos japoneses, chineses e indianos, cujo símbolo maior é o Taj Mahal, cuja abóbada em metal, recentemente reconstruída substituiu a estrutura milenar em bambu. Países como a Costa Rica, a Colômbia e o Equador utilizam o bambu para a produção de unidades habitacionais. A Costa Rica produzia em média cerca de 1.500 casas de bambu por ano, cujos requisitos atendiam aos exigidos pela ONU para construções de unidades habitacionais, sendo um dos países mais desenvolvidos na produção de habitações de interesse social com bambu (Cortez, et al., 1998).

É possível encontrar na China, construções espetaculares como pontes com grandes vãos tencionadas com cordas de bambu, enquanto na África existem muitas habitações populares também utilizando este material.



Figura 17 - Ponte em bambu na Colômbia



Figura 18 - Ponte em bambu na China

Na Índia e na China os produtos manufacturados representam biliões em trocas comerciais e na América do Sul o bambu possui já um crescimento nesse sentido, no Brasil é utilizado, quase exclusivamente, em construções temáticas e de luxo. Já na Colômbia e Equador onde também se adoptou o uso de bambu na construção de habitações populares, que sobreviveram a terremotos sem grandes danos na sua estrutura.

2.4.4. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BAMBU

As características mecânicas do bambu variam devido a diversos factores: tipo de espécie, idade dos colmos, tipo de solo onde se desenvolveu, condições climatéricas locais, época do ano na altura da colheita, teor de humidade nas amostras, localização das amostras em relação comprimento total do colmo, presença ou ausência de nós nas amostras testadas e o tipo de testes realizados. O excelente desempenho a nível estrutural do bambu quanto à torção, compressão, flexão e tracção é conferido pela sua volumetria tubular e pelo arranjo longitudinal das fibras que formam os feixes de micro tubos (Ghavami, 1992).

Resultados revelaram que, para uma mesma espécie de bambu, ocorre uma grande variação na sua resistência, quando comparada com outros materiais como por exemplo o aço. A grande dispersão de resultados apresenta-se como uma vantagem quando consideradas cargas dinâmicas, como em tremores de terra ou tornados. Esta vantagem pode ser melhor visualizada em curvas de distribuição normal para aço e bambu, quando se considera a tensão de trabalho ou carga de rotura. No caso do aço em que o desvio padrão da distribuição normal é pequeno, qualquer erro no projecto ou na construção poderá levar ao colapso rápido da estrutura. Ao contrário da distribuição normal no caso de estudo do bambu, para o qual o desvio padrão é maior.

O bambu é muito usado em estruturas e pode absorver grandes quantidades de energia sendo muito seguro quando usado em zonas sísmicas (Janssen, 1989).

Uma das grandes dificuldades no estudo das características mecânicas do bambu refere-se à sua forma geométrica. Essa forma peculiar nem sempre permite que se possam adoptar directamente as normas utilizadas no ensaio de madeiras. Os colmos de bambus podem apresentar uma grande variação o que impede a obtenção de amostras homogéneas escolhidas de um mesmo colmo, podendo influenciar bastante o resultado final dos ensaios (Hidalgo López, 1974). Esta peculiaridade geométrica presente no bambu é destacada por diversos autores como a razão essencial da necessidade haver uma normalização nos ensaios de bambu. Os resultados obtidos dependem fortemente de vários parâmetros inerentes às diferentes espécies: relação entre as suas dimensões características, idade dos colmos e amostragem

Os valores de resistência à compressão e tracção do bambu são mais elevados em colmos com seis anos de idade e amostras com idade superior a oito anos apresentam uma resistência mais elevada a flexão. É importante correlacionar a resistência mecânica do

bambu com sua anatomia. O módulo de elasticidade e a tensão de rotura são fortemente correlacionados com o comprimento das fibras. Por sua vez, a distribuição dos feixes vasculares de uma forma mais homogênea, favorece a fendilhação do colmo. Devido à orientação das fibras ter o mesmo sentido ao longo de toda a peça, o uso do bambu quando predominam solicitações de tracção e compressão é bastante usual em estruturas com essa exigência (Liese, 1998).

2.4.4.1. COMPRESSÃO

O ensaio de amostras de bambu é normalmente feito com o uso de um pedaço da cana. Nesse caso, a quantidade de nós na região considerada, a sua posição e distância entre os mesmos ao longo do colmo podem ter grande influência nos resultados (Beraldo, et al., 2003). Os colmos de bambu com maior diâmetro permitem a recolha de pequenas amostras trabalhadas, o que torna os ensaios mais precisos, por evitar os prováveis deslizamentos entre a amostra e os pratos da máquina de ensaio, sobretudo nos casos em que a altura da amostra é considerável. Em de ensaio directo de alguns colmos, pode ser atingida uma carga na ordem de 20t a 40t, que além de ultrapassar a capacidade de algumas máquinas de ensaio, requer condições particulares de segurança (Beraldo, et al., 2003).

A resistência média dos provetes cilíndricos é sempre superior àquela obtida com a utilização de provetes que tenham sofrido modificações geométricas. Dessa forma, torna-se evidente a importância que a presença de nós tem para o endurecimento do colmo. A determinação do módulo de elasticidade do bambu em compressão também apresenta certas dificuldades. A deformação do provete é variável, dependendo se o sensor utilizado para medir a deformação (extensómetro) se encontra próximo da camada externa do colmo ou próximo de um nó. A camada externa deforma-se menos do que a camada

interna, por acção da diferença na distribuição dos elementos anatómicos. O módulo de elasticidade obtido nas camadas pode então apresentar um valor duas a três vezes superior à média da espécie (Beraldo, et al., 2003).

Para provetes com 30cm de altura e 3cm de diâmetro, determinou-se uma tensão de rotura de 80MPa e um módulo de elasticidade de cerca de 20GPa. Desse modo, conclui-se que o bambu poderia reforçar adequadamente o betão em obras cujas solicitações sejam menores. A curva de tensão/deformação no ensaio de compressão é quase linear. A resistência à compressão situa-se entre 20MPa a 120MPa, e o módulo de elasticidade varia entre 2,6GPa e 20GPa (Hidalgo López, 1974).

Um estudo realizado por (Beraldo, et al., 2003) determinou para a espécie de bambu *Phyllostachys*, com um diâmetro externo de 43mm e um diâmetro interno igual a 34mm, uma resistência à compressão de 55MPa. Para provetes paralelepípedicos da espécie *Dendrocalamus giganteus* uma resistência à compressão de 93MPa e para a espécie *Phyllostachys purpurata*, de diâmetro igual a 22mm e diâmetro interno de 10mm, com uma distância entre dois nós de 120mm, um valor médio de 65MPa.

Para a espécie de *Phyllostachys purpurata* observou-se que provetes com três nós apresentavam uma resistência à compressão 10% superior dos que apresentavam apenas dois (Marçal, 2011).

O bambu, assim como a madeira, apresenta uma dependência estreita entre propriedades mecânicas e peso específico. A resistência à compressão [MPa] pode ser estimada como igual ao produto do peso específico [Kg/m³] por um factor 0,094 e o valor da resistência depende fortemente da proporção de fibras existentes nos provetes (JANSSEN, 1988).

2.4.4.2. TRACÇÃO

Os exemplos de pontes antigas asiáticas construídas com tecidos entrançados provenientes das camadas externas de colmos de bambu, tornaram-se exemplos de uma combinação de leveza e excelente resistência tracção (Figura 18). A grande longevidade das pontes deveu-se à ausência de tecidos provenientes das camadas internas do colmo, os quais, conforme relatado anteriormente apresentam uma maior concentração de substâncias passíveis de atrair insectos (LOPEZ, 1981). Em teoria a resistência de tecidos da região externa do bambu, submetidos à tracção paralela, pode atingir valores da ordem de 260MPa (ONU, 1992).

A resistência à tracção é de 2,5 a 3,5 vezes aquela obtida em ensaios de compressão (Schniewind, 1988). A resistência à tracção do bambu é elevada e, em algumas espécies pode atingir os 370MPa. Isso torna-o capaz ao uso como um substituto para o aço, especialmente quando considerada a relação entre a sua resistência à tracção e o seu peso específico Tabela 8.

A relação entre a resistência à tracção do bambu e o seu peso específico (s/g) é mais do que 2,34 vezes do que a obtida para o aço A500. Em geral, a resistência à tracção do bambu, com ou sem nó, situa-se entre os 40MPa e 215MPa, e o seu módulo de elasticidade varia entre os 5,5GPa e 18GPa (Marçal, 2011).

Tabela 8 - Relação entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais (Tecnologias e materiais alternativos de construção, 2003).

Tipo de Material	Tensão de rotura à tracção [MPa]	Peso específico [N/mm ³ x 10 ²]	$R = \frac{\text{Resist. Tracção}}{\text{Peso específico}}$	$\frac{R}{R_{\text{aço}}}$
Aço A500	500	7,83	0,64	1,00
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro Fundido	280	7,70	0,39	0,61
Bambu	120	0,80	1,50	2,34

A preparação de um ensaio de tracção para o bambu é uma operação especialmente delicada. Somente a pressão das pinças da máquina de ensaio pode causar a rotura dos provetes por compressão transversal e se a pressão não for suficiente, pode dar-se o deslizamento do colmo durante a realização do ensaio. Assim, para que os ensaios sejam realizados em condições óptimas torna-se necessário ter alguns cuidados como a utilização de provetes de ensaio provenientes da região central do colmo e devidamente transformados para o ensaio, como no caso da madeira. Deverá ainda ser acautelada a protecção da acção das pinças da máquina de ensaio com o uso de protecções de borracha, resinas ou placas de alumínio visando, igualmente, eliminar o deslize (Ghavami, 1992).



Figura 19 - Provetes submetidos a ensaio de tracção

No caso de ensaio de espécies com diâmetros maiores, podem obter-se provetes paralelepípedicos com recurso a serra e plaina. Para as espécies com diâmetros inferiores, onde a curvatura do colmo é mais acentuada, será necessário proteger essa forma curva das extremidades do colmo com o envolvimento em pastas de cimento ou com resinas, para permitir que ocorra um encaixe perfeito com as pinças da máquina de ensaio.

Apesar da resistência do bambu à tracção não depender da região do colmo onde foi efectuada a amostragem (Ghavami, 1992), pode ser substancialmente reduzida devido à presença de nós (Hidalgo López, 1974).



Figura 20 - Equipamento de ensaios à tracção

Durante o ensaio ocorre uma concentração de tensões na região do colmo onde se verifica a presença de nós, devido a um desvio lateral sobre os feixes das fibras originarem pontos de menor resistência. Teoricamente, os provetes que apresentam nós na região central tenderão a apresentar resultados inferiores à média da espécie em estudo.

2.4.4.3. FLEXÃO

Conforme referido anteriormente, as espécies que apresentam diâmetros maiores e uma distância maior entre nós, permitem a execução de provetes semelhantes aos das madeiras. Nas madeiras deve-se adoptar uma posição dos provetes adequada à disposição do fio (paralelo ou perpendicular ao carregamento) e no caso do bambu deverá ser tomado um cuidado idêntico em relação à disposição da camada externa do colmo, a casca. A maior concentração de feixes de fibras nessa camada indica que o provete apresentará uma maior resistência se a camada externa estiver abaixo da linha neutra, na região onde o provete está traccionado.

No entanto, ensaios de flexão estática num vão de 150mm realizados sobre provetes da espécie *Dendrocalamus giganteus* apresentaram resultados contraditórios à suposição acima descrita, porém concordantes com o relatório da ONU (ONU, 1992). Também o

efeito da baixa resistência nas camadas superiores na região de compressão, o que induzia à rotura prematura do provete (Beraldo, 1994). Apesar de inúmeros ensaios com a espécie *Guadua angustifolia*, não se confirmou a possível contribuição que a posição da camada externa durante o ensaio de flexão poderá inferir na resistência à rotura, denotando não haver uma influência significativa desse factor nos resultados obtidos (Hidalgo López, 1974).

Em geral, os resultados observados na literatura analisada indicam valores da resistência do bambu à flexão entre os 30MPa e 170MPa. Uma variação tão grande de resultados prende-se não apenas com a própria resistência à flexão do material, mas também pelo tipo de ensaio à flexão realizado bem como pelo tamanho da amostra usada nos testes. O módulo de elasticidade dos colmos de bambus estudados na flexão, com recurso a segmentos de bambu, variou entre 6Gpa e 14Gpa, e sua resistência à flexão entre 57MPa e os 133MPa (BERALDO, et al., 2003).

No caso de bambus de pequeno diâmetro, é possível determinar teoricamente os resultados supondo-se que os provetes sejam tubos com paredes finas e homogêneas. No entanto, os colmos de bambu apresentam espessuras que variam significativamente nas proximidades dos nós. Nessa região ocorre um aumento na espessura da parede, além de mudanças na direcção dos feixes de fibras (Marçal, 2011).

As diferentes espécies e amostras recolhidas de um mesmo colmo apresentam diferenças quer nas distâncias entre nós consecutivos como no número de nós existentes na região do colmo situada entre os apoios. Desse modo, torna-se extremamente difícil a comparação dos resultados apresentados na Tabela 9 (Beraldo, 1987). Observa-se, no entanto, que o módulo de elasticidade é da ordem do observado em madeiras de boa resistência.

Tabela 9 - Resistência dos bambus à flexão (BERALDO, 1987)

Nome botânico	Limite elástico [MPa]	Tensão na rotura [MPa]	Módulo de elasticidade [GPa]
<i>B. tuldoides</i>	95	153	20
<i>B. vulgaris</i>	48	106	8
<i>B.v. Vittata</i>	40	75	5
<i>D. giganteus</i>	86	151	12
<i>P.purpuratta</i>	42	69	8

2.4.4.4. TORÇÃO

A secção circular é a única secção ou arranjo geométrico possível capaz de gerar o máximo de área com o mínimo de perímetro ou superfície. Esta é uma qualidade natural e inerente da circunferência e manifesta-se na natureza sob diversas formas como nos caules e raízes das plantas ou nas artérias e veias do corpo humano, entre outras. Devido ao seu formato cilíndrico o bambu possui boas propriedades quando submetido a forças de torção.

Contudo as fibras do bambu são facilmente descoladas e esse deslocamento pode ser muito prejudicial ao sistema de tensões, provocando uma descontinuidade no mesmo. Essa descontinuidade tende a diminuir a resistência à torção de uma cana (Marçal, 2011).

2.4.4.5. CISALHAMENTO

A força de cisalhamento no bambu é paralela ao sentido das fibras e esse é o ponto fraco do bambu, os valores mais baixos que foram obtidos em testes laboratoriais são para a resistência ao cisalhamento. Tal facto deve-se à união entre fibras se dar unicamente por elementos ligantes naturais e o descolamento das fibras ocorrer com baixos valores de tensão. O aparecimento de fissuras, por acção de forças de cisalhamento, pode representar um sério problema em estruturas de bambu pois além de surgirem preocupações quanto à

estabilidade estrutural, também pode provocar a entrada de água e insectos que podem diminuir a vida útil da estrutura.

Quanto maior o teor de humidade do bambu, menor será sua resistência ao cisalhamento. A resistência ao cisalhamento perpendicular às fibras do bambu representa em média cerca de 30% da sua resistência à flexão, ou seja, cerca de 32MPa (com uma variação entre os 20MPa e os 65MPa). Quanto à resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras é de, aproximadamente, 15% da sua resistência à compressão, ou seja, cerca de 6Mpa (com uma variação entre os 4MPa e os 10MPa (BERALDO, 2003). Quanto maior a eficiência e controlo do sistema de secagem maior será o resultado que se poderá esperar dos valores de resistência ao cisalhamento o que conduzirá a peças que fissurem facilmente (Marçal, 2011).

2.4.5. COMPÓSITOS DE FIBRAS DE BAMBU

Os compósitos de fibras do bambu apresentam boas características físicas e mecânicas, produzem um produto leve, resistente a impactos, com bom isolamento térmico, além de ser uma matéria-prima disponível e renovável. As fibras de bambu incorporadas em compósitos alcalinos necessitam de um tratamento prévio devido a sua constituição química rica em açúcares e amido (BERALDO, et al., 1998).

2.4.5.1. AGLOMERADOS À BASE DE CIMENTO E PARTÍCULAS DE BAMBU

Realizaram-se diversas experiências sobre compósitos de bambu e cimento, onde se incorporaram fibras de *Bambusa tuldoides* (peneiro 2,4mm) em cimentos Portland com Escória de Alto Forno e Cimento Portland de Alta Resistência Inicial; os traços utilizados foram de 1:0,375 e relação água/cimento de 0,750 em massa (Beraldo, 1997). O autor pôde verificar que o maior problema existente era a incompatibilidade química entre estes dois elementos. Na tentativa de minimizar este problema foram comparados diferentes tipos de

tratamento das partículas de bambu: um grupo controle de partículas sem tratamento, um grupo com tratamento por lavagem previa das partículas em água a 80°C por um período de 2 horas, um grupo com a adição de aditivo acelerador de presa (Cloreto de cálcio – $CaCl_2$ – a 3% da massa do cimento) e um grupo tratado com a imersão das partículas em silicato de sódio - Na_2SiO_3 a 5% e depois em sulfato de alumínio – $Al_2(SO_4)_3$ a 30% (mineralização).

Após a realização dos diversos ensaios o autor concluiu que o bambu na sua forma natural é altamente inibidor da presa do cimento pela sua forte constituição de amido, que exposto a um meio fortemente alcalino se degrada em açúcares como a glicose, frutose e sacarose, chegando em alguns casos a inibir quase na totalidade a presa do ligante.

Concluiu assim que a lavagem em água quente permite eliminar parcialmente o amido presente nas partículas de bambu, contudo a eficiência deste método depende da temperatura e da duração adoptadas na imersão. Igualmente a imersão em solução diluída de substâncias alcalinas como cal ou soda obtém bons resultados.

A utilização de cimentos de presa rápida proporciona melhores resultados comparativamente a cimentos convencionais, sendo o efeito favorável da utilização deste tipo de cimentos potenciado pela lavagem preliminar das partículas em água quente. O uso de aditivos aceleradores de presa melhora de uma forma acentuada o desempenho dos compósitos e quando combinado com os tratamentos descritos anteriormente proporciona resultados mais evidentes.

A evolução das etapas de presa dos compósitos pode ser acompanhada pela análise da curva de hidratação, e no caso do endurecimento pela análise de ultrassons. Através da análise da curva de hidratação da mistura é possível verificar a incompatibilidade do bambu na forma de partículas por meio da obtenção da temperatura máxima de

hidratação do compósito e do tempo necessário para alcançá-la. No caso da análise por pulso ultrassônico, a velocidade máxima ao atravessar o compósito é um excelente indicador da resistência mecânica (Beraldo, 1997).

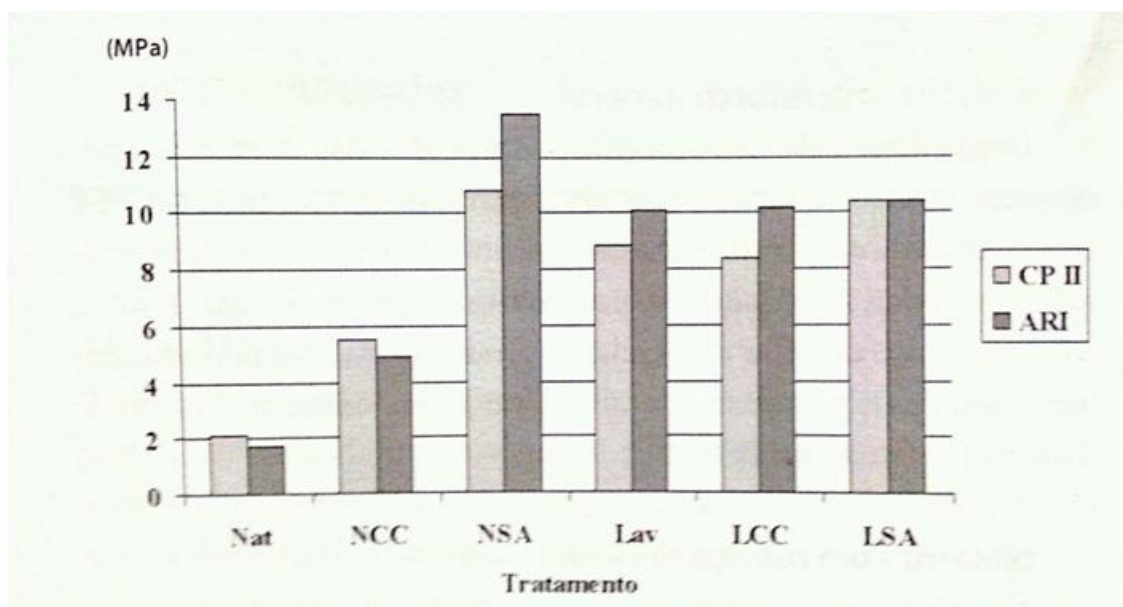


Figura 21 - Efeito de tratamentos aplicados às partículas de bambu (*D. giganteus*) para a produção de compósitos à base de dois tipos de cimento (CP-II-E-32 e CP-V-ARI)

Legenda:

Nat - partículas naturais (sem tratamento)

CC - cloreto de cálcio (3% em massa de cimento)

SA - sulfato de alumínio (3%)

Lav - partículas lavadas em água quente

LCC - partículas lavadas, adicionadas de 3% de cloreto de cálcio

LSA - partículas lavadas e adicionadas de 3% de sulfato de alumínio

Os resultados presentes na Figura 21 indicam que o cimento Portland de alta resistência inicial (na figura: CP V ARI) obteve os melhores resultados comparado com o cimento

Portland de secagem rápida (na figura: CP II E 32) e a imersão das partículas em solução alcalina (mineralização), o melhor tratamento. Na figura pode-se ainda observar o efeito inibidor das partículas de bambu no seu estado natural e a minimização desse efeito pela adoção dos diversos tratamentos aplicados às partículas descritos anteriormente ou pela adição de aditivos aceleradores de presa.

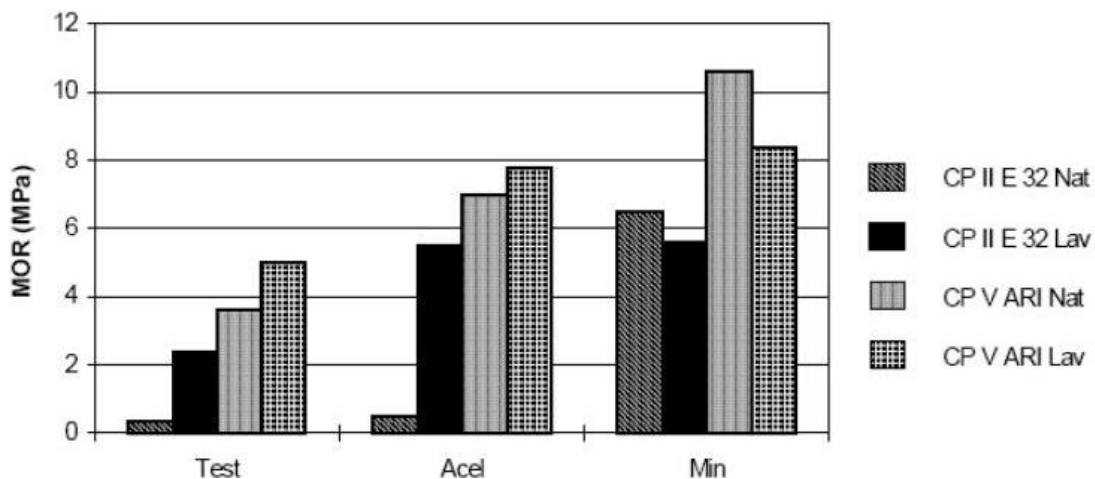


Figura 22 - Ensaio de compressão simples no compósito bambu e cimento, (Beraldo, 1997)

Estudaram-se as reacções das partículas da espécie de bambu *Bambusa tuldooides* sem qualquer tipo de tratamento e lavadas a uma temperatura de 80°C por um período de 2 horas, nos cimentos Portland de secagem rápida e Portland com resistência inicial rápida e com a adição dos aditivos aceleradores de presa cloreto de cálcio e sulfato de alumínio, ambos em quantidade igual a 3% em massa de cimento (Beraldo, 1997). Os resultados indicaram que o tipo de cimento, o aditivo utilizado assim como o estado das fibras influenciam o comportamento do compósito, sendo que a lavagem das fibras aumentou a resistência dos compósitos estudados, independente do tipo de cimento e aditivo utilizado (Pereira, et al., 2008).

2.4.5.2. RETRACÇÃO PLÁSTICA E RETRACÇÃO ELÁSTICA EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

A adição das fibras em compósitos cimentícios resulta numa diminuição do valor de retracção plástica. O material ainda em estado plástico, nas primeiras horas é beneficiado pela adição das fibras, devido à elevada capacidade de absorção destas, pelo que contribuem para uma maior retenção de líquido e conseqüentemente uma menor retracção plástica (SALES, et al., 2004).

Quanto maior for o teor em fibras, menor será a retracção plástica. Posteriormente, com o material endurecido, a adição das fibras auxilia a eliminação de água do interior do compósito, pelo que contribui para o aumento da retracção livre e uma maior perda de massa. Do mesmo modo, quanto maior for o teor em fibras, maior será o valor de retracção livre. Observou-se que a adição de uma quantidade de 8% de polpa de bambu apresentava melhores resultados no ensaio de retracção livre em comparação ao compósito sem polpa.

2.4.6. AGLOMERADOS À BASE DE GESSO E PARTÍCULAS DE BAMBU

A análise sobre a influência dos extractivos de bambu nas características da hidratação do gesso e das partículas tratadas no compósito de bambu e gesso concluiu, através da análise de todos os métodos testados: como a agulha de Vicat, análise da curva de hidratação e análise com pulso ultrassónico, que a presença dos extractivos de bambu influencia negativamente as características do gesso e afectam o processo de hidratação. (Silva, et al., 2010)

Da mesma análise concluiu-se que o tratamento de imersão das partículas de bambu em água quente foi mais eficaz que o tratamento em solução de hidróxido de cálcio na resistência à compressão axial do compósito.

A Figura 23 mostra que a adição de partículas de bambu contribui para o aumento da resistência à compressão. A resistência à compressão do compósito de gesso e bambu com partículas lavadas em água quente foi maior do que o obtido com partículas de bambu tratadas com hidróxido de cálcio, principalmente para 10% de partículas de bambu. O compósito de gesso e bambu torna-se vantajoso a partir da adição de valores iguais ou superiores a 6% de partículas de bambu percentagem a partir da qual se obtêm valores mais elevados quando comparados com os de referência: 7,0Mpa (Silva, et al., 2010).

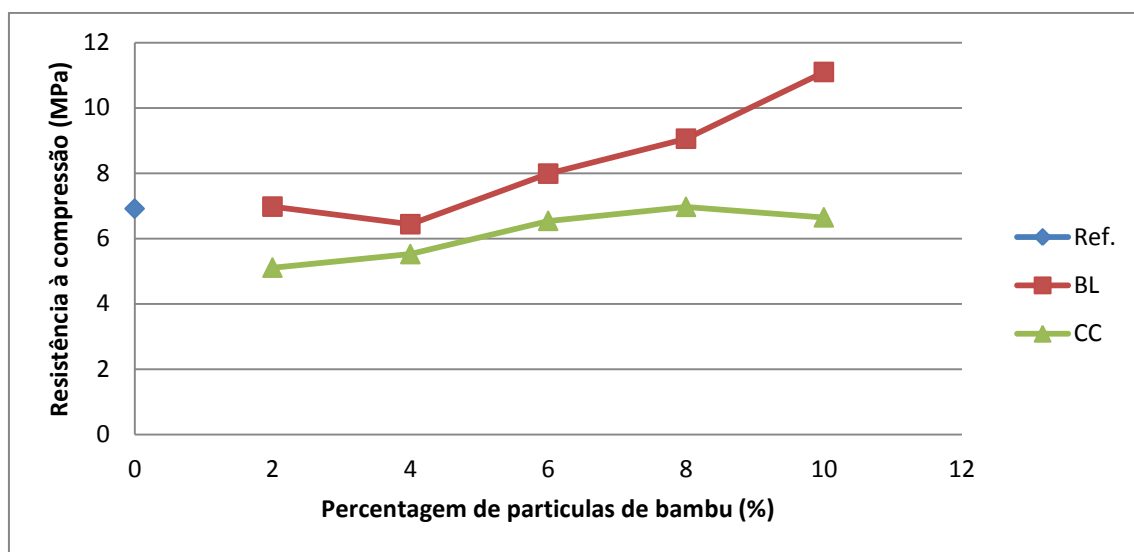


Figura 23 - Efeito da adição de partículas de bambu na resistência compressão do compósito gesso-bambu (Silva, et al., 2010)

2.4.7. ASSOCIAÇÃO DA MADEIRA COM UM LIGANTE INORGÂNICO

Devido às propriedades físicas e mecânicas do bambu, o objectivo desta conjugação de materiais é a de proporcionar um reforço mecânico às placas de gesso laminado.

2.4.7.1. INFLUÊNCIA SOBRE A PRESA DO GESSO

A bibliografia sobre este tema é demasiado escassa quando comparada com a mesma problemática em relação ao betão. A escala temporal entre estes dois ligantes é claramente desproporcional, o tempo de presa do gesso é medido em minutos ao passo que o do betão é

contabilizado em dias, daí se verifica que esta questão é claramente mais sensível ao nível do betão. O compósito de bambu cimento resulta numa grande incompatibilidade química entre os dois componentes (bambu e cimento), pois verifica-se um alongamento muito significativo do tempo de presa, ou mesmo a inibição completa desta, a mistura permanece indefinidamente no estado plástico (Biblis, 1968).

O bambu é constituído por amido que, exposto a um meio alcalino se desdobra em açúcares tais como a sacarose, glicose e frutose e estes inibem completamente a presa do betão (Beraldo, 1994).

Várias soluções foram experimentadas no sentido de minimizar o efeito negativo da interacção do compósito cimento e bambu:

Soluções de lavagem das partículas de bambu em água quente permitem eliminar parcialmente a presença de amido e dependendo da temperatura e duração da exposição poder-se-ão obter resultados com eficiências variadas (Beraldo, 1994).

A utilização de cimentos de presa rápida com percentagens de argila entre 27 e 40% ao invés dos cimentos de presa lenta ou normal com proporções de argila até 27%. O principal componente do cimento de presa rápida é o aluminato tricálcico, que se hidrata fixando a água, pois não há libertação de calor, como no *Portland* (Beraldo, 1994).

Aditivos aceleradores de presa com o objectivo de neutralizar os efeitos negativos dos extractos da madeira como o cloreto de estanho, ferro ou alumínio para 5% em massa (MOSLEMI 1995); cloreto de cálcio e sulfato de alumínio (Beraldo, 1994). Com a adição de cloreto de cálcio é mesmo possível neutralizar os efeitos dos açúcares, sem alterar as propriedades mecânicas do compósito (MITCHELL 1992);

Estudos realizados demonstraram que a evolução da presa e endurecimento do compósito pode ser acompanhada pela curva de hidratação (presa) e ultrassons (endurecimento). A curva de hidratação permite verificar a incompatibilidade das partículas de bambu pela obtenção da temperatura máxima de hidratação na mistura bambu e cimento e pelo tempo necessário para alcançá-la. No caso dos ultrassons, a velocidade máxima do pulso ultrassônico através do compósito é um excelente indicativo de sua resistência mecânica (Beraldo, 1994).

A influência dos taninos e ácidos alifáticos não produz efeitos marcantes ao passo que os terpenos ou terpenóides (diversificada classe de substâncias naturais, ou metabólitos secundários de origem vegetal) e a lignina não induzem qualquer efeito observável (Biblis, 1968).

2.4.7.2. COMPORTAMENTO MECÂNICO DO MATERIAL

O gesso é um material elástico com uma rotura frágil e com uma tensão elevada. Ao incorporar fibras vegetais, geralmente há uma mudança nesse comportamento Figura 24, com o aparecimento de uma fissura e a propagação controlada desta (testes de flexão em três e quatro pontos, (Hernandez, et al., 1991), (Hernandez, et al., 1992), (Jorillo, et al., 1995).

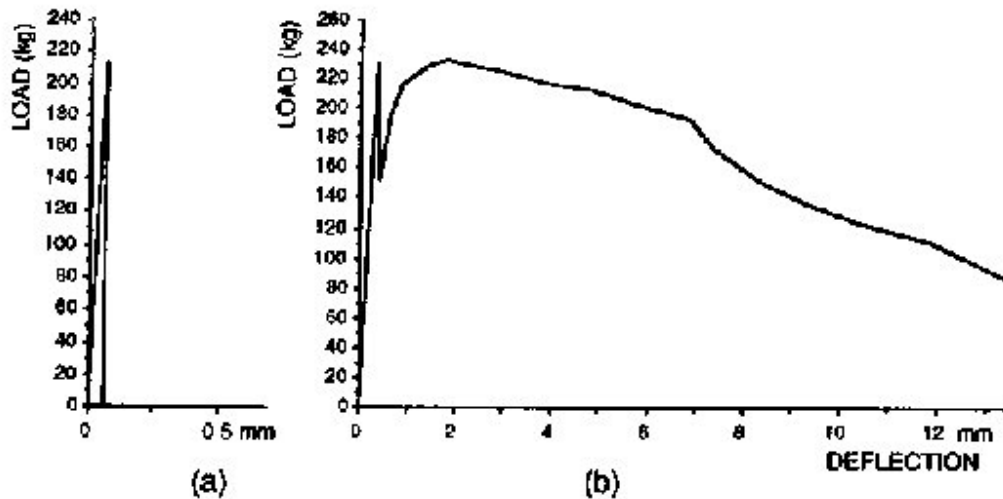


Figura 24 - Representação esquemática do comportamento em flexão de três pontos: (a) gesso puro
(b) compostos de gesso - fibra de sisal (Jorillo, et al., 1995).

Este comportamento é atribuído à presença de fibras que actuam como "ponte" entre as faces da fissura, acrescido de uma taxa de transferência da matriz de gesso para as fibras através de diferentes mecanismos de ligação, como a fricção, coesão adesão, (Hernandez, et al., 1991).

3. MATERIAIS

3.1. BAMBU

A espécie utilizada neste estudo foi escolhida tendo por base a sua adequabilidade a climas temperados como o Português e à resistência a temperaturas baixas. Conforme referências bibliográficas, a espécie é amplamente utilizada como material na construção civil por conter colmos fortes e vigorosos adequados ao uso na construção.

As partículas de bambu utilizadas são provenientes da espécie *Phyllostachus pubescens (edulis)*. As amostras foram cedidas pela empresa Bambuparque e as canas não foram submetidas a qualquer tipo de tratamento de conservação. Estas, provenientes de plantas adultas (mais de 5 anos) tinham sido cortadas há cerca de dois anos e encontravam-se

armazenadas ao ar livre sem qualquer tipo de protecção aos elementos, porém o seu estado de conservação era bom.



Figura 25 - Armazenamento das canas de bambu, nas instalações da Bambuparque, utilizadas no estudo

As canas, cortadas com tamanhos aproximados de 1,20m apresentavam diâmetros compreendidos entre os 7 a 12 cm e uma parede com espessura média compreendida entre 8 e 10 mm.



Figura 26 - Cana de *Phyllostachys pubescens* utilizada no estudo

As partículas foram obtidas por trituração com recurso a um equipamento triturador de eixo único da *Reinbold* (Figura 28). O tamanho da tela utilizada foi de 8mm e as

partículas produzidas foram posteriormente lavadas com água corrente e peneiradas (malha de 1mm) para eliminação total de poeiras e finos.



Figura 27 - Partículas de bambu à saída do triturador de eixo único



Figura 28 - Canas de bambu no triturador de eixo único

Após lavagem e peneiração as partículas foram armazenadas em invólucros plásticos e conservadas em local seco para manterem o seu estado de conservação.



Figura 29 - Partículas de bambu após lavagem e peneiração

3.2. GESSO

Foi utilizado gesso calcinado ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) utilizado na produção de placas de gesso laminado. O gesso utilizado foi cedido pela empresa GYPTEC, a sua unidade industrial situada na Figueira da Foz utiliza como matéria-prima o gesso FGD (Gesso de Dessulfurização de Gases de Combustão), um subproduto das centrais termoelétricas portuguesas, tratando-se assim de uma produção de placas de gesso laminado, recorrendo a matérias-primas ecológicas e a métodos não poluentes, ambientalmente e economicamente sustentáveis. Este processo é aplicado essencialmente em termoelétricas e/ou caldeiras de grande porte. Os gases ácidos reagem com a suspensão de calcário (“slurry”), formando sulfito de cálcio, posteriormente oxidado a sulfato. Depois de decantado, o resíduo sólido originado possui valor comercial e pode ser utilizado, entre outros, na construção civil como no caso de produção de placas de gesso.

3.3. ADJUVANTES

3.3.1. SUPERPLASTIFICANTE

A inclusão de adjuvantes na composição da mistura surge neste estudo com a necessidade de dar resposta à produção das placas em meio laboratorial. Um dos desafios em elaborar as placas laminadas prende-se desde logo com a dificuldade em moldar o gesso entre duas folhas de papel, uma vez que este adquire consistência muito rapidamente.

Os cristais de gesso começam a formar-se muito rapidamente após a adição da água e de forma a garantir uma correcta aderência entre o papel e o gesso (um dos grandes factores da resistência à flexão das placas) torna-se necessário fluidificar um pouco a solução para a mistura ganhar alguma trabalhabilidade e formação dos cristais se retardar.

Uma outra forma de garantir a trabalhabilidade necessária poderia passar pelo aumento da quantidade de água na mistura porém esta solução apresenta algumas desvantagens como o facto da necessidade de tempo de secagem ser superior e em meio industrial isso significaria maior gasto energético em estufa.

De modo a obter máxima trabalhabilidade da mistura de gesso sem aumentar a quantidade de água e obter a maior aderência possível entre o gesso e o papel utilizou-se o adjuvante superplastificante / redutor de água da empresa *Sika*, o *Sika ViscoCrete G-2*.



Figura 30 - Adjuvante superplastificante / redutor de água de alta gama – Sika ViscoCrete G-2

Este é um adjuvante líquido para todos os ligantes à base de sulfato de cálcio e é usado como um superplastificante.

3.3.2. INTRODUTOR DE AR

Na produção das placas, conforme referido anteriormente, é utilizada a adição de detergente sob a forma de espuma na mistura, de modo a obter-se um gesso menos denso. O detergente escolhido deve formar uma espuma em água dura (ou seja, água contendo

uma elevada concentração de íões de cálcio). Este processo é demasiado difícil de recriar em laboratório uma vez que a espuma deve ter uma dispersão homogénea de bolhas de ar e em dimensões muito reduzidas. Uma forma aproximada de recriar este efeito passaria pela adição de esferas de poliestireno, contudo a utilização destas, devido à sua densidade, provoca a acumulação na superfície da placa originando uma mistura nada homogénea.

Desta forma para tentar reduzir o peso das placas obtidas e aproximar as placas de laboratório das placas obtidas com recurso a meios industrial foi utilizado um adjuvante introdutor de ar para betões.



Figura 31 - Adjuvante Introdutor de ar – Sika ERA-5

O Sika-ERA é um adjuvante introdutor de ar para betão de acordo com a norma EN 934-2:T5, permite aumentar a quantidade de ar ocluído no betão, sob a forma de bolhas finas muito estáveis e uniformemente repartidas no betão. Devido às suas características (dimensão das bolhas de ar, estabilidade no tempo do ar ocluído, distribuição homogénea) o Sika-ERA-5 permite obter betões endurecidos com uma maior resistência às acções do gelo-degelo.

3.3.3. AMIDO

A adição em pequenas quantidades garante uma melhor aderência entre o papel e o gesso. No processo de cura do gesso, o amido migra para a superfície das placas e protege a ligação física entre os cristais de gesso e o papel durante o processo de secagem.



Figura 32 - Utilização de amido na produção das placas de ensaio

Os amidos migram para as superfícies da placa e agem como uma cola para a pedra de gesso curado com a cobertura de papel, e também proporcionam rigidez à placa.

3.4. PAPEL

O papel utilizado na composição das placas foi também cedido pela empresa Gyptec Ibéria. Trata-se do mesmo papel utilizado na produção das placas de gesso laminado na sua unidade industrial, é um papel tipo cartão e tem uma gramagem de 190 g/m². A face interior do papel tem a coloração acastanhada e a face exterior apresenta três cores distintas para diferenciar o tipo de placas produzidas (rosa, verde, azul e marfim).



Figura 33 - Papel utilizado na produção de gesso laminado – 190g/m²

O papel representa um importante componente na produção das placas pelo que quanto mais espesso for maior a resistência à flexão da placa. Foram executadas placas com as dimensões de 300 mm x 400 mm pelo que o cartão era cortado longitudinalmente de modo a obter rectângulos com as dimensões referidas, posteriormente o papel enrolado no sentido contrário do rolo e deixado a repousar sob acção de uma placa de madeira de modo a obter duas peças lisas.

4. METODOLOGIAS

As placas produzidas foram submetidas a três ensaios: análise da resistência à flexão simples, seguido de análise de humidade a duas placas de cada grupo (grupo controlo e grupo de placas com adição de partículas de bambu) com melhor e pior resultados de resistência à flexão e por último ensaio de resistência à compressão uniaxial de provetes cúbicos. Ainda todas as placas produzidas foram submetidas à sua análise dimensional e recolhidos dados sobre a quantidade de água perdida no processo de secagem em estufa.

4.1. PREPARAÇÃO DA ARGAMASSA E COMPÓSITO DE GESSO-BAMBU

Não seria possível efectuar a comparação entre as placas recriadas em laboratório com a adição de bambu com placas produzidas em meio industrial sem bambu, pelo que numa primeira etapa, foram preparadas pastas de gesso controlo (sem bambu) com a adição dos adjuvantes introdutor de ar, superplastificante e amido.

A relação de água / gesso na pasta de gesso controlo foi obtida segundo a análise empírica que a seguir se descreve:

- Inicia-se com uma relação de 45ml de água para 50g de gesso;
- Deita-se a água num gobelé e adiciona-se o gesso, deixa-se repousar sem mexer durante 60 segundos;
- Mexe-se a mistura durante 30 segundos rodando o gobelé num sentido e a espátula no sentido contrário;
- Despeja-se a mistura sobre um vidro;
- Mede-se o diâmetro que a pasta de gesso forma sobre a superfície, o tamanho ideal deverá situar-se entre os 5 a 10 cm;
- Repetir o processo até se obter a consistência pretendida;



Figura 34 - Determinação empírica da relação de água / gesso

Conforme indicado, a trabalhabilidade do gesso condicionou a execução das placas pelo que se optou pela adopção de uma relação água/gesso elevada de modo a facilitar a obtenção das placas pretendidas. O diâmetro final da mistura utilizada nas placas controlo foi de 9,8cm o que representa uma relação de água/gesso em massa igual a:

$$\frac{M_A}{M_G} = 0,80$$

Onde:

M_A Massa de água

M_G Massa de gesso

De acordo com diversos fabricantes de gesso a relação água/gesso situa-se entre 0,6 a 0,86 pelo que relação determinada se encontra dentro destas indicações.

Tabela 10- Características técnicas do pó de Gesso (Fonte: Gesso Trevo)

Variável	Unidade	Valores
Relação Água/gesso		0,75 a 0,85
Trabalhabilidade	Min	15 a 45

Resistência ao Arrancamento	Mpa	0,35
Absorção	%	35 a 40
Resistência à Compressão	Mpa	8,0 a 9,0
Resistência à Flexão	Mpa	3,0 a 3,5

Numa segunda fase executaram-se as placas de gesso com a mesma formulação das placas controlo mas com a adição de bambu. A percentagem de bambu na argamassa foi obtida com base no estudo de (Silva, et al., 2010) que determinou um aumento da resistência à compressão em argamassas com até à adição de 12% de partículas de bambu em relação massa do gesso.

Realizaram-se quatro misturas com 15%, 20%, 30% e 40% de modo a verificar qual a relação que obtinha melhor trabalhabilidade e verificou-se que a partir de 20% em massa de gesso, o bambu espessa em demasia a argamassa tornando quase impossível a tarefa de nivelar a misturar para colocação da folha de papel na parte superior pelo que a relação que melhor comportamento apresentava se situava nos 15%.



Figura 35 - Amostras com 15% e 40% de bambu, respectivamente

De igual forma efectuou-se a análise empírica para determinar a relação água/gesso na argamassa de modo a verificar como a adição do bambu poderia reduzir a trabalhabilidade da mistura.



Figura 36 - Determinação empírica da relação água/gesso na argamassa com 15% de bambu

O diâmetro final da mistura utilizada nas placas com bambu foi de 9,6cm podendo-se concluir que o bambu contribui para diminuir ligeiramente a trabalhabilidade da argamassa absorvendo alguma água da mistura e espessando o composto, porém estas alterações não são significativas para reduzir de forma significativa a trabalhabilidade da mistura nem tampouco retirar água de hidratação à mesma.

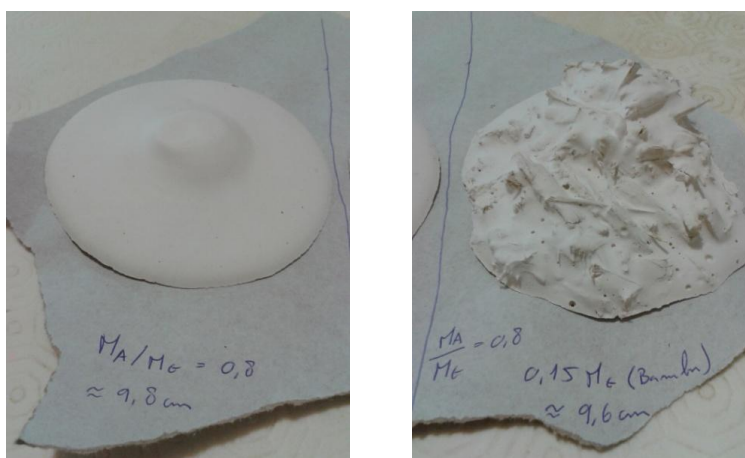


Figura 37 - Resultado final do estudo da relação de água/gesso



Figura 38 - Molde de madeira para execução das placas de gesso

Estas dimensões foram definidas a partir norma EN 520:2004+A1:2009 - Placas de Gesso Laminado – definições, requisitos e métodos de ensaio. Para cada mistura foram executadas oito placas.

No interior de cada molde era colocada uma película protectora para evitar que o gesso escoasse por um qualquer orifício do molde e sobre esta era colocada uma lâmina de papel 190g/m² com a face acastanhada voltada para cima.



Figura 39 - Molde para produção das placas revestido com filme plástico

A mistura foi preparada e vertida sobre o molde e com recurso a vibração manual a pasta era nivelada. Sobre esta era imediatamente colocada outra folha de papel ligeiramente humedecida, com a face acastanhada voltada para o interior.

O processo de produção em meio industrial consiste numa mesa onde por intermédio de rolos se formam as placas com a espessura pretendida.



Figura 40 - Produção de placas de gesso laminado em meio industrial

De modo a replicar este processo de fabrico industrial assim que a composição da lâmina de papel, gesso e papel estivesse concluída aplicou-se uma placa de madeira com as dimensões de 310 mm x 410 mm para efectuar a prensagem de modo a garantir a aderência de ambas as faces de papel à mistura de gesso.

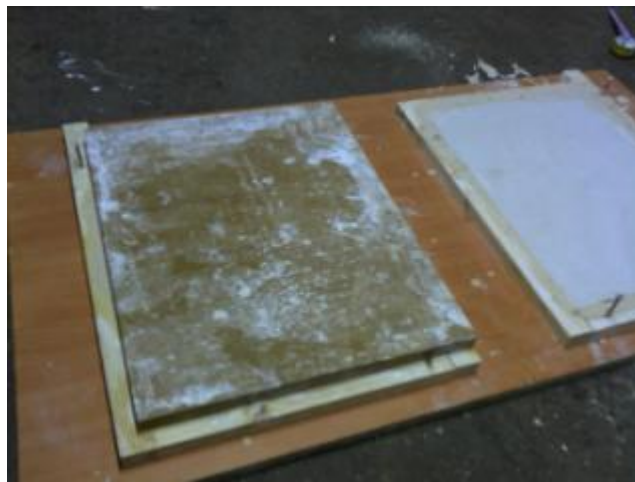


Figura 41 - Esquema de prensagem para adesão do papel ao gesso

Após dez minutos retirou-se a placa e abriu-se a lateral do molde para permitir a retirada da placa do molde. Colocaram-se as placas em prateleiras revestidas a filme plástico de modo a permitir uma secagem ao ar por um período de cinco dias até serem submetidas a secagem na estufa. Durante esta fase de secagem ao ar as placas eram voltadas diariamente para permitir uma cura homogénea.

Após este período de cinco dias anotaram-se as medidas e peso das placas e identificaram-se para controlo após secagem (numeração de #1 a #8 para cada um dos grupos).

4.3. CONTROLO DA ÁGUA PERDIA APÓS SECAGEM

Os dois grupos de placas foram submetidos a uma secagem em estufa com ventilação de ar forçada a uma temperatura de 150°C por um período de duas horas.



Figura 42 - Secagem das placas em laboratório, estufa com ventilação de ar forçada

Para permitir uma maior economia de tempo foram utilizadas duas estufas, iguais em marca e modelo, onde se dividiram em dois grupos: o grupo de controlo (sem bambu) e o grupo de placas com bambu.

Efectuou-se a pesagem das placas nos cinco dias após a sua execução para posteriormente à secagem em estufa determinar a quantidade de água retirada neste processo. Foi utilizada uma balança digital com precisão à décima.



Figura 43 - Pesagem das placas após secagem em estufa

4.4. PREPARAÇÃO DE CUBOS PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO SIMPLES

Foram preparadas três cubos de cada grupo (com e sem bambu) para executar o ensaio à compressão dos compósitos. Com o auxílio de uma forma em aço inoxidável executaram-se cubos com dimensão de aresta igual a 7 cm.



Figura 44 - Molde em aço inoxidável para provetes cúbicos - Ensaio compressão

Após execução dos moldes estes permaneciam em repouso por cerca de 10min para o compósito endurecer, passado este período o molde era aberto lateralmente para permitir a retirar dos cubos. Imediatamente após da retirada dos cubos, estes foram colocados em estufa pelo período de 24h a uma temperatura de 41°C. A temperatura e exposição da secagem em estufa para os provetes cúbicos diferem da temperatura e método utilizado na produção das placas pois o segundo pretende emular a sua produção em meio industrial (alta temperatura e curto espaço de tempo); como os ensaios de compressão não são uma exigência da Norma², sendo 41°C a temperatura mínima que garante que toda a água livre é extraída das amostras, os provetes são submetidos a uma exposição de 24h. O resultado das secagens é o mesmo, apenas o método difere.

² EN 520:2004+A1:2009 - Placas de Gesso Laminado – definições, requisitos e métodos de ensaio

4.5. ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL EM ESTUDO

4.5.1. ENSAIOS DE FLEXÃO

Efectuou-se o ensaio de flexão estática nas placas produzidas para verificar se as partículas de bambu aumentam ou não a resistência mecânica destas em compósitos de gesso, conforme descrito pela bibliografia consultada.

A Norma UNE – EN 520:2005+A1:2010 define os princípios e metodologias para determinação da resistência a flexão. Define que a resistência à flexão das placas de gesso laminado deve caracterizar-se mediante a sua carga de rotura à flexão. Assim, os provetes com dimensões de 400mm x 300mm serão cortados das placas e deverão ser submetidos a uma carga de aumento constante até que se atinja a rotura.

Será utilizado um dispositivo de carga com uma precisão de 2%, capaz de aplicar a carga necessária a uma velocidade constante de $250 \pm 125\text{N}/\text{min}$.

A norma estabelece que para o ensaio de flexão, as placas sejam colocadas sobre dois apoios cilíndricos paralelos cujo raio está compreendido entre 3mm e 15mm, com um afastamento entre eles de $350 \pm 1\text{mm}$. Posteriormente é aplicada uma carga a uma velocidade de $250 \pm 125\text{N}/\text{min}$ a meio vão $\pm 2\text{mm}$, de forma paralela aos apoios, por intermédio de um de um rolete cilíndrico de raio igual aos apoios (compreendido entre 3mm e 15mm). As leituras dos valores da carga de rotura são efectuadas com precisão de 1 Newton.

O tempo decorrido entre a aplicação da carga e o momento em que se produz a rotura deve ser superior a 20s. No final registam-se os valores individuais de cada ensaio e calcula-se a carga de rotura à flexão como o valor médio dos três ensaios, tanto para provetes transversais como longitudinais.

Neste estudo apenas foram ensaiados provetes longitudinais e executaram-se oito provetes de cada compósito, em contraste com os três exigidos pela Norma. Este aumento de ensaios explica-se pela maior dispersão de resultados esperada uma vez que se trata de um processo de produção manual.



Figura 45 - Ensaio flexão estática

A força provocada até a rotura das placas era medida pelo equipamento que traçava o gráfico de força/deformação e anotava automaticamente os valores em computador. A resistência de flexão foi calculada com recurso à equação:

$$\sigma = \frac{3 \times p \times l}{2 \times b \times h^2}$$

Onde:

σ	Tensão máxima [MPa]
p	Carga de Rotura [N]
l	Espaçamento entre apoios [mm]
b	Comprimento da placa [mm]
h	Espessura da placa [mm]

4.5.2. ENSAIO DE COMPRESSÃO

A Norma UNE – EN 520:2005+A1:2010 nada estabelece em relação aos ensaios de compressão uma vez que não são uma exigência às placas de gesso laminado.

No entanto efectuou-se o ensaio de compressão simples nos cubos produzidos para verificar a influências das partículas de bambu na resistência à compressão em compósitos de gesso, conforme descrito por Beraldo em 1997.

Para o ensaio de compressão utilizou-se uma máquina prensa hidráulica de acionamento eléctrico de ensaio universal.

Para o ensaio de compressão os provetes produzidos foram submetidos a uma força axial compressível, distribuída de modo uniforme em toda a secção transversal deste.



Figura 46 - Prensa hidráulica de acionamento eléctrico de ensaio universal

4.5.3. ANÁLISE DE HUMIDADE – DIHIDRATO

Após a execução do ensaio de flexão, procedeu-se à análise da água de cristalização em duas amostras de cada grupo: o grupo de controlo e grupo com partículas de bambu. As amostras foram escolhidas de entre as placas de cada grupo com melhor e pior

desempenhos no ensaio de resistência à flexão, de modo a aferir se o estado de hidratação do gesso era a causa da dispersão ocorrida.

Esta análise baseia-se na mudança da massa do gesso medida em função da variação de temperatura de uma forma controlada.

Para a execução deste ensaio utilizou-se um analisador de humidade da A&D modelo MX-50 que permite a secagem da amostra combinada com um mecanismo avançado de protecção de calor para a célula de peso proporcionando elevada precisão fornecendo leituras de teor de humidade com precisão de 0,001%.



Figura 47 - Analisador de humidade AnD MX-50

Tabela 11 - Características do analisador de humidade AnD MX-50

Método de Medição	Sistema de aquecimento linear por lâmpada de halogéneo - 400W
Peso máximo da amostra	51 g
Precisão de peso	0,001 g
Exibição de conteúdo de humidade	0,01 / 0,1%

Precisão de conteúdo de humidade - mais de 1 g 0,10%

Precisão de conteúdo de humidade - mais de 5 g 0,02%

Recolheu-se uma amostra de cada uma das placas e com auxílio de um triturador desfizeram-se as amostras em pó. De seguida pesaram-se cerca de 5,0g das amostras directamente na balança do equipamento espalhando uniformemente sob o cadinho de ensaio. Após a recolha e preparação da amostra bastava fechar a protecção de calor e o equipamento iniciava a análise efectuando as leituras de peso e temperatura num dado período (a cada 15s até perfazer 20min). Numa etapa inicial atingia os 50°C em 5min para efectuar a secagem da amostra (leitura de água livre - AL) subindo posteriormente até aos 160°C até perfazer os 20min de ensaio, a diferença de peso nestes dois estágios de temperatura fornece a leitura de água combinada (AC) presente nas amostras.

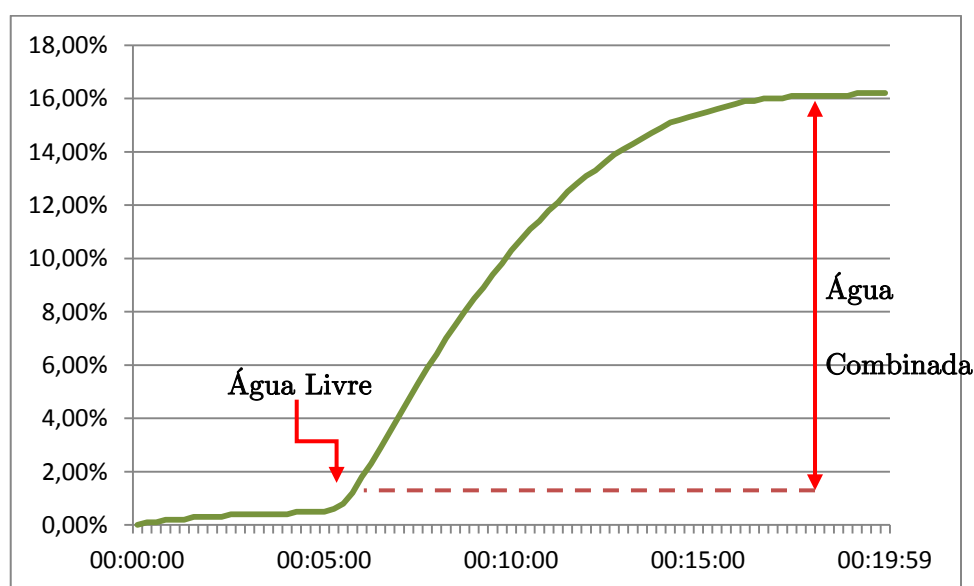


Figura 48 - Esquema de um gráfico de análise de humidade

Para determinação da água combinada das amostras basta subtrair o valor da percentagem de água perdida ao final dos 20min pelo valor obtido no primeiro estágio de secagem de 5min a 50°C, através da seguinte fórmula:

$$AC = AT - AL$$

Onde:

AT Água total

AL Água livre

AC Água combinada

5. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Foram elaborados dois tipos de compósitos, para cada um foram moldadas oito placas, e submetidas ao ensaio de flexão. Dos resultados de cada mistura foram calculados a média aritmética e o respectivo desvio padrão.

Do resultado dos ensaios de flexão, foram seleccionadas duas placas de cada grupo (com e sem bambu), uma cujo resultado foi alto e uma placa com resultado baixo. Destas placas, foi recolhido gesso, triturado e elaborou-se o ensaio termogravimétrico. Destes ensaios efectuou-se o registo das percentagens de água combinada nas amostras.

Foram ainda elaborados três cubos de cada tipo de compósito e submetidos ao ensaio de compressão simples. Novamente, dos resultados de cada mistura foram calculadas a média aritmética e o respectivo desvio padrão.

Para o cálculo das médias e desvios padrão nos ensaios de flexão foram retiradas do cálculo três placas de cada grupo. Estas amostras, por causa não conclusiva, foram mais expostas a temperaturas elevadas no processo de secagem que provocou a decomposição do gesso $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ em hemihidrato $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ e anidrato CaSO_4 .

5.1. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS DE CONTROLO DE SECAGEM EM ESTUFA

De modo a controlar o processo de secagem e determinar se todas as placas obtiveram a mesma percentagem de água perdida após secagem efectuou-se o controlo antes e após a secagem, conforme descrito anteriormente. Os resultados foram ordenados sob a forma de um gráfico para possibilitar a comparação directa entre os valores de secagem.

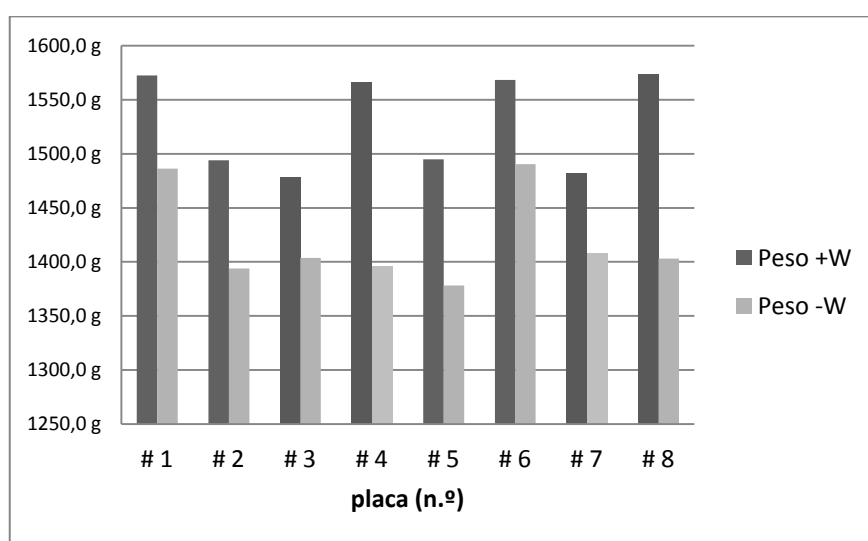


Figura 49- Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo de controlo

Conforme se verifica através da observação do gráfico algumas das placas apresentam uma maior percentagem de perda de água, nomeadamente as amostras número 4 e 8.

Tal facto poder-se-á dever à disposição das placas dentro da estufa uma vez que a mesma apresentava uma dimensão interior de cerca de 30cm pelo que para acomodar as placas estas tiveram de ser colocadas na diagonal e com recurso a espaçadores foram sobrepostas umas sobre as outras. Como as placas tinham dimensão de 300mm x 400mm também ocupavam a totalidade da profundidade da estufa pelo que a ventilação de ar forçado na estufa não era conseguida com muito sucesso e as placas das extremidades possivelmente obtiveram uma maior exposição à temperatura e daí uma maior perda de água no processo

de secagem. Estes dados foram confirmados posteriormente pela análise de humidade efectuada após o ensaio de flexão.

As placas dos dois grupos apresentavam todas as mesmas dimensões (300mm x 400mm). O grupo de controlo apresenta uma média de peso antes da secagem de 1528,6g e um desvio padrão igual a 44,6g, e após a secagem uma média de 1419,9g e um desvio padrão de 43,2g. A perda de água com a secagem representa em média 108,7g o que perfaz uma percentagem de 7,1% do peso inicial das placas. A densidade média das placas controlo é de $910,2\text{kg/m}^3$ com um peso de $11,8\text{kg/m}^2$.

Importa referir que o peso das placas produzidas em meio industrial, para espessuras de 12,5mm é de $9,2\text{kg/m}^2$ o que representa uma densidade de 736kg/m^3 . Esta diferença de peso é das principais razões pela qual foram produzidas placas controlo, uma vez que é extremamente difícil simular o processo de fabrico das placas de gesso laminado em laboratório desvio à impossibilidade de recriar a espuma que garante uma distribuição homogénea de ar na placa e reduz substancialmente o peso destas.

Tabela 12 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo controlo

Amostra	Peso +W	Peso -W	Wl	%Wl	kg/m ³	kg/m ²
# 1	1572,4 g	1486,2 g	86,2 g	5,48%	952,7 kg/m ³	12,4 kg/m ²
# 2	1493,9 g	1394,0 g	99,9 g	6,69%	893,6 kg/m ³	11,6 kg/m ²
# 3	1478,2 g	1403,7 g	74,5 g	5,04%	899,8 kg/m ³	11,7 kg/m ²
# 4	1566,1 g	1395,7 g	170,4 g	10,88%	894,7 kg/m ³	11,6 kg/m ²
# 5	1494,7 g	1378,2 g	116,5 g	7,79%	883,5 kg/m ³	11,5 kg/m ²
# 6	1568,1 g	1490,5 g	77,6 g	4,95%	955,4 kg/m ³	12,4 kg/m ²
# 7	1482,4 g	1408,1 g	74,3 g	5,01%	902,6 kg/m ³	11,7 kg/m ²
# 8	1573,3 g	1403,1 g	170,2 g	10,82%	899,4 kg/m ³	11,7 kg/m ²
x_{méd.}	1528,6 g	1419,9 g	108,7 g	7,1%	910,2 kg/m ³	11,8 kg/m ²

O grupo com bambu apresenta o mesmo problema em relação à perda de água elevada em algumas das placas. Sendo as que apresentam uma maior percentagem de água perdida, as número 4 e 8.

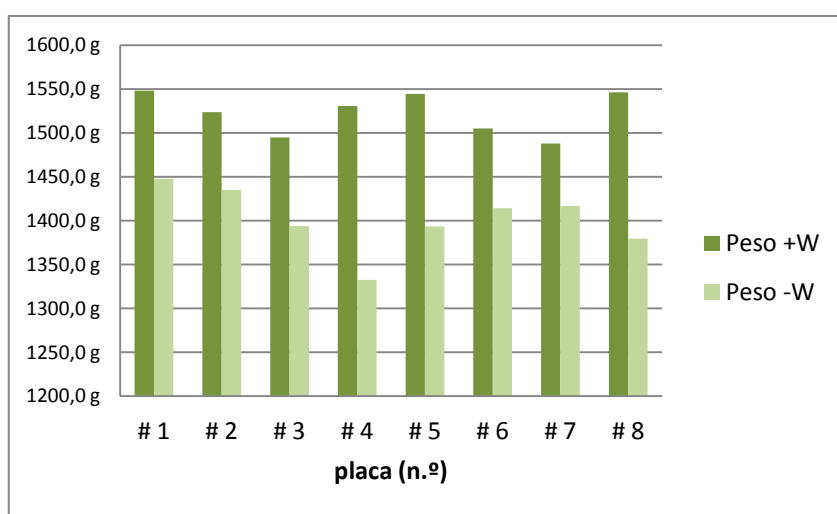


Figura 50 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo Com Bambu

O grupo de placas com bambu apresenta uma média de peso antes da secagem de 1522,6g e um desvio padrão igual a 24,0g, e após a secagem uma média de 1401,6g e um desvio padrão de 45,0g. A perda de água com a secagem representa em média 121,0g o que perfaz uma percentagem de 7,9% do peso inicial das placas. A densidade média das placas controlo é de 898,5 g/cm³ com um peso de 11,8kg/m².

Tabela 13 - Controlo de peso antes e após secagem em estufa – Grupo Com Bambu

Amostra	Peso +W	Peso -W	Wl	%Wl	kg/m ³	kg/m ²
# 1	1548,2 g	1447,8 g	100,4 g	6,48%	928,1 kg/m ³	12,1 kg/m ²
# 2	1523,7 g	1434,8 g	88,9 g	5,83%	919,7 kg/m ³	12,0 kg/m ²
# 3	1494,7 g	1393,6 g	101,1 g	6,76%	893,3 kg/m ³	11,6 kg/m ²
# 4	1530,7 g	1332,6 g	198,1 g	12,94%	854,2 kg/m ³	11,1 kg/m ²
# 5	1544,3 g	1393,4 g	150,9 g	9,77%	893,2 kg/m ³	11,6 kg/m ²
# 6	1505,0 g	1414,3 g	90,7 g	6,03%	906,6 kg/m ³	11,8 kg/m ²
# 7	1488,0 g	1416,9 g	71,1 g	4,78%	908,3 kg/m ³	11,8 kg/m ²
# 8	1546,3 g	1379,4 g	166,9 g	10,79%	884,2 kg/m ³	11,5 kg/m ²
x_{méd.}	1522,6 g	1401,6 g	121,0 g	7,9%	898,5 g/cm ³	11,7 kg/m ²

No final o resultado do peso do grupo com bambu é inferior em cerca de 200g/m² ao grupo de controlo o que representa uma diminuição de peso na ordem dos 10 a 12% do peso inicial das placas.

Tabela 14 - Resumo de valores médios e desvio padrão do controle de água após secagem.

Grupo Com Bambu

	Peso +W	Peso -W	Wl	%Wl	kg/m ³	kg/m ²
x_{méd.}	1522,6 g	1401,6 g	121,0 g	7,9%	898,5 kg/m ³	11,6 kg/m ²
s	24,0 g	35,9 g	45,0 g	2,9%	23,0 kg/m ³	0,3 kg/m ²

Grupo Controlo

	Peso +W	Peso -W	Wl	%Wl	kg/m ³	kg/m ²
x_{méd.}	1528,6 g	1419,9 g	108,7 g	7,1%	910,2 kg/m ³	11,8 kg/m ²
s	44,6 g	43,2 g	40,6 g	2,5%	27,7 kg/m ³	0,4 kg/m ²

Variação	6,0 g	18,3 g		0,8%	11,8 kg/m ³	0,2 kg/m ²
-----------------	-------	--------	--	------	------------------------	-----------------------

O grupo de placas com bambu para um mesmo período de tempo de secagem perde cerca de 0,8% do seu peso inicial para as placas controlo. Esta diferença de peso representa que parte da água da amassadura é retida no bambu pelo que é mais fácil retirá-la das placas com recurso a temperaturas mais baixas e/ou menor tempo de exposição em estufa.

Esta diferença pode representar uma economia de recursos despendidos com a secagem das placas o que representaria uma poupança na execução destas com gastos energéticos.

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Onde:

Q Quantidade de calor

m Massa

c Calor específico (Água = 1cal/g°C)

ΔT Diferença de temperatura (T1-T0)

O calor específico da água é igual a 1,0 cal / g °C. Significa que é necessário fornecer uma quantidade de calor de 1,0 cal para aquecer 1,0 g de água de 1 °C. Deste modo para aquecer 1litro de água dos 25°C aos 100°C seriam necessários 75.000cal.

$$Q = 1000 \times 1 \times (100 - 25)$$

$$Q = 75000cal = 87Wh$$

Se 1m³ de gás natural tem um poder calorífico de 8600kcal/m³ então seriam necessários 0,00869m³ de gás natural para evaporar 1litro de água.

Uma marca como a da KNAUF produz gasta cerca de 11 milhões de toneladas de gesso por ano para a sua produção de placas de gesso cartonado. Para se compreender a dimensão, com a produção das placas de ensaio foram gastos cerca de 1kg de gesso calcinado para produzir uma placa com 300mm x 400mm o que significa que se gastariam 8,3kg para produzir 1m², como tal com esse gasto seriam produzidos 1.375 milhões de metros quadrados de placas por ano.

A relação de água/gesso usada no estudo foi de 0,80 o que significaria uma quantidade de 11.000.000,00 x 0,8 = 8,8 milhões de toneladas de água, que numa redução de 0,8% de água com a produção de placas com bambu incorporado poderá originar uma redução de 0,8% x 8,8 milhões de toneladas de água = 70.400tn de água (x 1000 litros).

Seriam necessários 70.400.000litros x 0,0869m³ = 611.776,00m³ de gás de natural para retirar esta quantidade de água das placas de gesso.

Gás Natural
Densidade do gás (a 15°C e 1.013 bar) - 0,65 Poder Calorífico Inferior – 8.600,00kcal/m ³
Preço médio por m ³ - € 0,59

O preço médio do gás natural ronda os 0,59€/m³, o que representa um custo de 611.776,00m³ x 0,59€ = 360.947,84€/ano.

Na verdade a produção de placas de gesso laminado utiliza relações de água/gesso inferiores à dos estudo pelo podemos admitir uma relação cerca de 75% inferior o que mesmo assim representa um poupança que ronda os 270.000,00€/ano.

A redução do peso das placas em cerca de 10 a 12% pode também poderá apresentar vantagens em relação a custos de transporte, perfis de apoio mais esbeltos e/ou mais espaçados e adopção de vãos com maior comprimento, contudo este estudo não pretende abordar essas questões, mas apenas indicar possibilidades de estudo mais avançadas para posteriormente avançar com a introdução do bambu na produção de placas de gesso laminado.

5.2. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO

Através do equipamento de ensaio à flexão estático foi possível retirar os gráficos de carga/deformação de todas as placas ensaiadas e obter os valores de carga de rotura sobre os quais se calculou a tensão de rotura.

De acordo com o referido anteriormente, as médias e desvios padrão foram calculados com base nas cinco placas que apresentaram melhores resultados dentro de cada grupo. Assim, o grupo de controlo apresenta uma média de carga de rotura de 437,0N com um desvio padrão de 40,7N. Estes valores representam uma tensão média de 3,4MPa com 0,30MPa.

$$\sigma = \frac{3 \times 437 \times 350}{2 \times 400 \times 13^2} = 3,4MPa$$

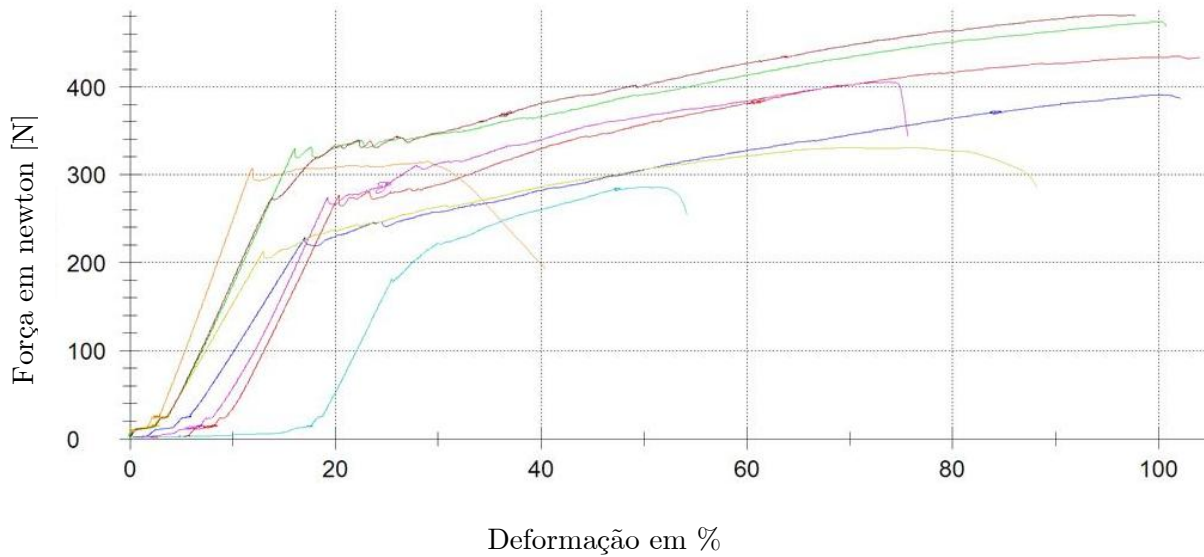


Figura 51- Gráfico do ensaio de flexão às amostras controlo (SEM Bambu)

As placas controlo apresentaram uma dispersão maior às do grupo com bambu. Foram retiradas do cálculo as amostras #4, #7 e #8 uma vez que representam os três resultados mais fracos, com desvios em relação ao valor mais elevado de cerca de 200N.

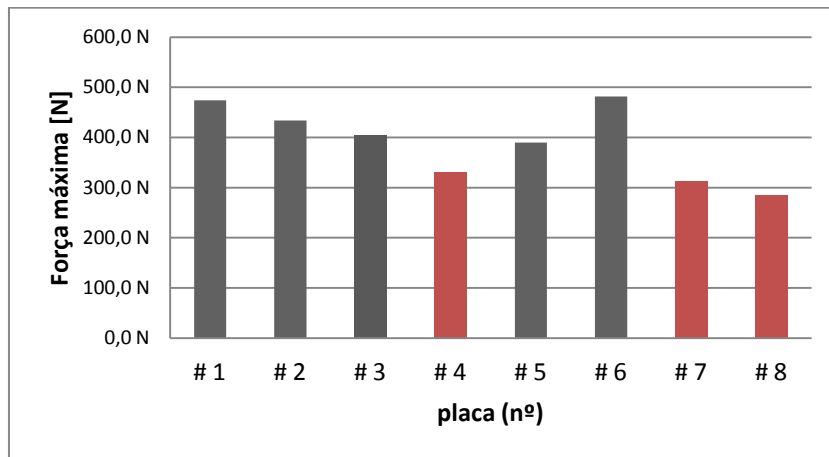


Figura 52 - Valores máximos da força de rotura (ensaio flexão) – SEM Bambu

As placas do grupo com bambu apresentam uma média de carga de rotura de 497,8N com um desvio padrão de 18,5N. Estes valores representam uma tensão média de 3,9MPa com 0,10MPa.

$$\sigma = \frac{3 \times 497,8 \times 350}{2 \times 400 \times 13^2} = 3,9MPa$$

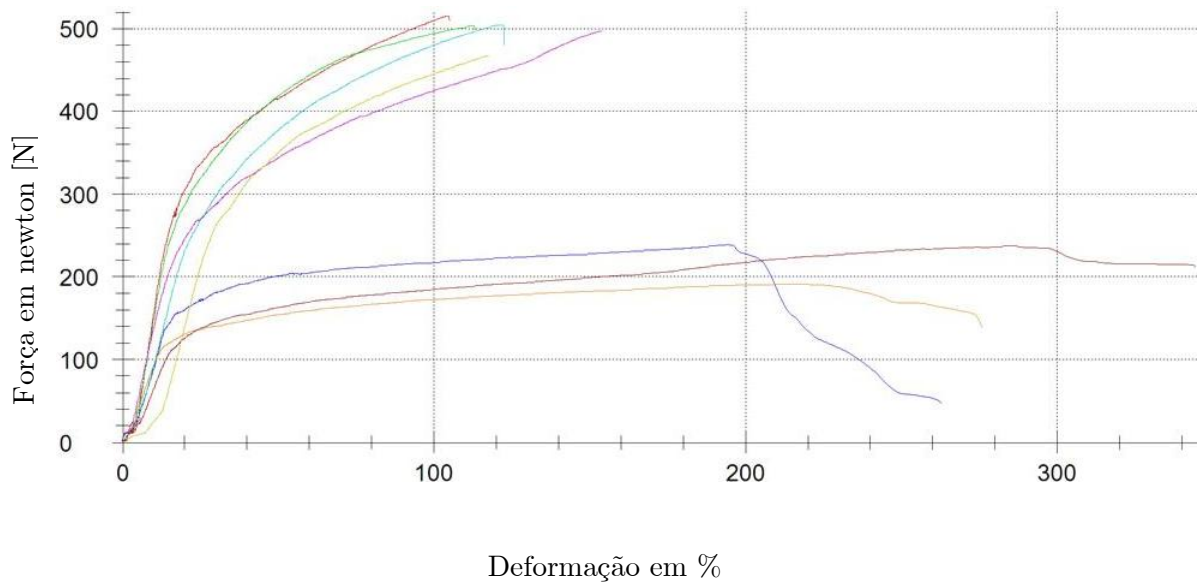


Figura 53 - Gráfico do ensaio de flexão às amostras COM Bambu

Pelo gráfico observa-se que, retirando os três valores mais baixos, a dispersão de resultados é bastante inferior ao grupo de controlo. Essa diferença é evidenciada pela diferença na variância do grupo de controlo (0,30MPa) para as placas do grupo com bambu (0,10MPa).

Nas placas com fibras de bambu verificou-se que, no ensaio de flexão, após a carga de rotura. Apenas era visível uma fissura, sem que as duas partes da placa se separassem totalmente uma da outra. Foi necessário usar força muscular para que a fissura aumentasse e quebrasse totalmente a placa em duas metades separando-as uma da outra.

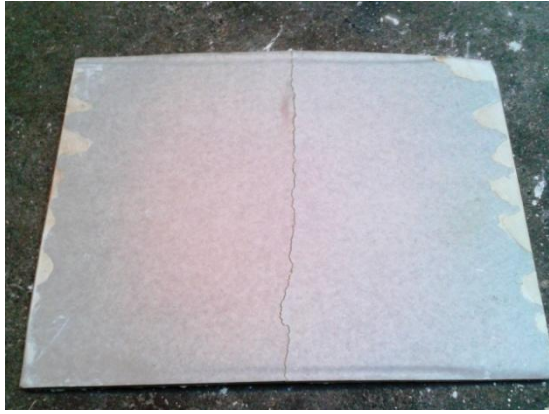


Figura 54 - Fissura em placa de gesso e bambu após ensaio



Figura 55 - Placa de gesso e bambu partida com recurso a força muscular após ensaio

Verificou-se uma melhoria significativa no aumento da resistência à flexão nos ensaios do grupo com bambu em relação ao grupo de controlo. O valor médio da carga de rotura dos ensaios de flexão das placas com fibras de bambu foi de 497,8N com um desvio padrão de 18,5N, que representa um valor de tensão de rotura médio de 3,9MPa com um desvio padrão de 0,1MPa. O ganho de resistência à flexão nas placas de gesso com bambu é em média de 60N o que representa quase 14% em relação às placas controlo.

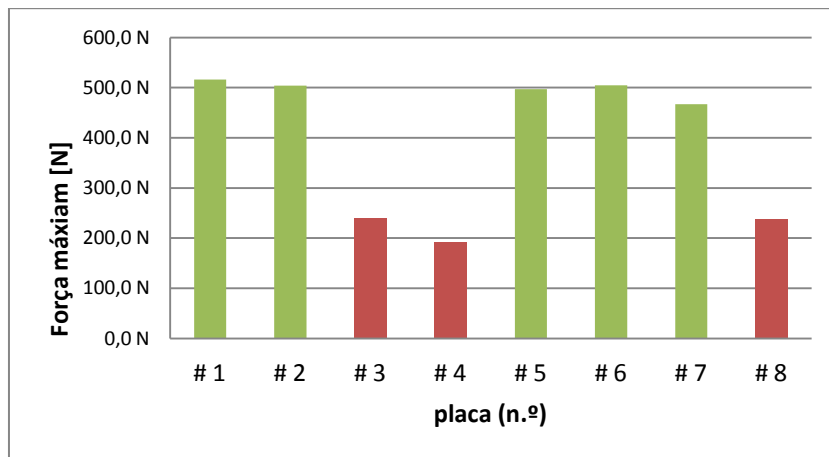


Figura 56 - Valores máximos da força de rotura (ensaio flexão) – COM Bambu

Nos ensaios de flexão verificou-se que ocorria uma dispersão grande em alguns resultados. Estes variavam muito em relação ao esperado pelo que para o cálculo da média foram retirados três valores de cada grupo uma vez que a sua fraca prestação deveu-se a falhas

na produção em laboratório, conforme se aborda a seguir no estudo por análise de humidade.

Deste modo, no quadro e para análise estatística do cálculo da média e desvio padrão os valores assinalados a vermelho foram retirados: placas #4, #7 e #8 no grupo de controlo e placas #3, #4 e #8 no grupo com partículas de bambu.

Tabela 15 - Carga e tensão de rotura - Amostras controlo

Amostra	$F_{máx.}$	$\sigma_{máx.}$
# 1	474,0 N	3,7 MPa
# 2	434,0 N	3,4 MPa
# 3	405,0 N	3,1 MPa
# 4	331,0 N	2,6 MPa
# 5	390,0 N	3,0 MPa
# 6	482,0 N	3,7 MPa
# 7	314,0 N	2,4 MPa
# 8	286,0 N	2,2 MPa

$x_{méd.}$	437,0 N	3,4 MPa
s	40,7 N	0,3 MPa

Tabela 16 - Carga e tensão de rotura - Amostras Com Bambu

Amostra	$F_{máx.}$	$\sigma_{máx.}$
# 1	516,0 N	4,0 MPa
# 2	504,0 N	3,9 MPa
# 3	239,0 N	1,9 MPa
# 4	191,0 N	1,5 MPa
# 5	497,0 N	3,9 MPa
# 6	505,0 N	3,9 MPa
# 7	467,0 N	3,6 MPa
# 8	238,0 N	1,8 MPa

$x_{méd.}$	497,8 N	3,9 MPa
s	18,5 N	0,1 MPa

5.3. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DO ENSAIO DE ANÁLISE TÉRMICA

Conforme descrito anteriormente algumas das placas de ambos os grupos apresentaram resultados de carga de rotura em ensaio de flexão demasiado baixos em comparação com a média do grupo. Estes resultados são clarificados com a análise térmica que se realizou posteriormente.

Foram escolhidas em ambos os grupos uma das placas com melhor resultado e uma outra com o pior, e submetidas a ensaio. Os resultados que se obtiveram demonstram que o valor de água de cristalização, ou água combinada presente na amostra número 2 (mau resultado) do grupo de controlo é de 6,9% em peso da amostra, no período de ensaio de 19 minutos e 59 segundos, em oposição à amostra número 8 (bom resultado) que apresenta um valor de 16,5% no período de ensaio de 19 minutos e 59 segundos (Tabela 17).

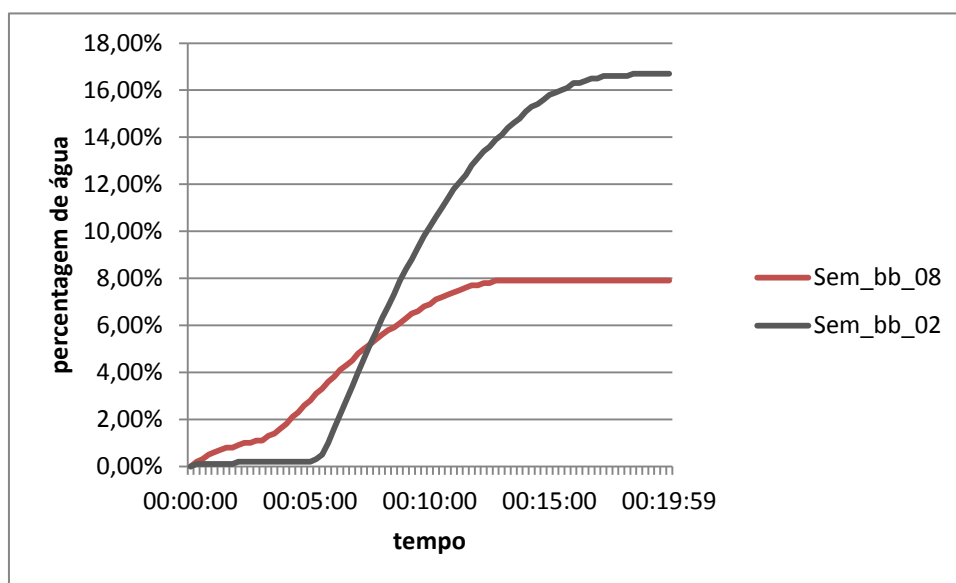


Figura 57 - Análise humidade – Amostras Controlo

Apesar do tempo de secagem e das condições de armazenamento das diversas amostras ter sido exactamente o mesmo, algumas amostras demonstram ter sido expostas em excesso a temperaturas elevadas o que provocou a decomposição do gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) em hemihidrato ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) e anidrato (CaSO_4).

Seria de esperar, num processo industrial, um valor próximo dos 21% pelo que podemos admitir que todas as placas no geral poderiam ter sido submetidas a um menor tempo de secagem, contudo como as condições em que estas foram executadas difere das placas disponíveis no mercado é difícil estabelecer uma relação significativa.

Os resultados que se obtiveram no grupo compósito de bambu e gesso demonstram que o valor de água de cristalização, ou água combinada presente na amostra número 8 (mau resultado) do grupo de controlo é de 7,8% em peso da amostra para um tempo de exposição de 19 minutos 58 segundos, em oposição à amostra número 1 (bom resultado) que apresenta um valor de 16,2% no período de ensaio de 19 minutos e 59 segundos (Tabela 17).

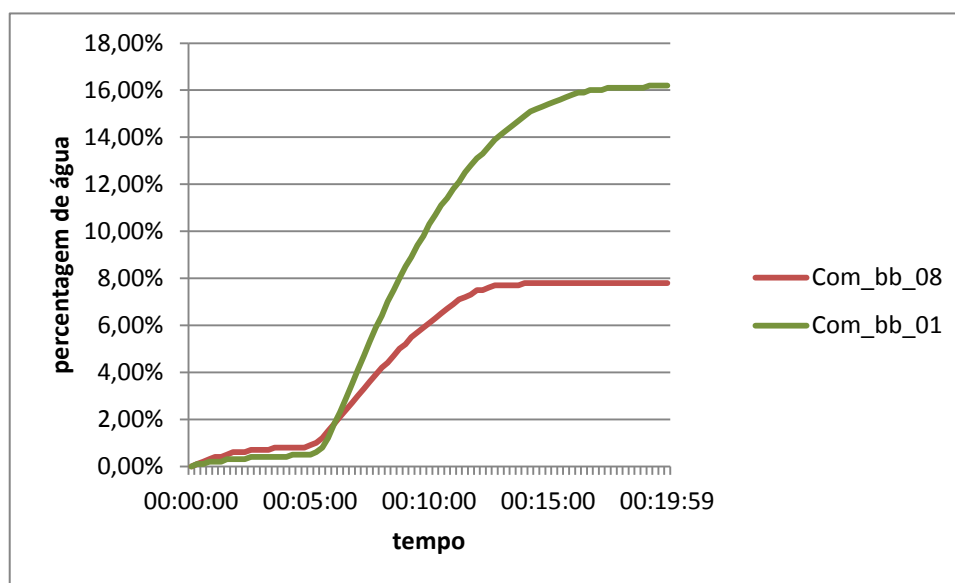


Figura 58 - Análise humidade – Amostras COM Bambu

As amostras com bambu apresentam um valor de água combinada (AC) = 16,5% e as amostras do compósito com bambu apresentam um valor de AC = 15,7%.

Presumindo que o valor de AC do gesso nas duas amostras é igual, uma vez que o gesso provém do mesmo fornecedor e esteve armazenado em condições idênticas, podemos assumir que se trata do caso e assim apresenta um valor de 5,5%.

- Em 100g de massa final das amostras controlo: 16,5g de água
- Com 15% de bambu nas amostras de compósito: $85g \times 16,5\% = 14,03g$ de água

Então:

100g de massa final de compósito têm:

- 14,03g de água no gesso e $15,7-14,03=1,67$ g de água no bambu

Assim, o valor de água combinada no bambu será calculado pela razão entre a quantidade de água na amostra de bambu pela quantidade de bambu utilizada em 100g de amostra:

$$\frac{1,67g}{15g} = 11,13\%$$

De modo a obtermos uma placa com o peso idêntico às produzidas em meio industrial, com uma espessura de 12,5mm (8,5kg/m²), teríamos de utilizar uma relação de:

- 7,23kg/m² de gesso e 1,27kg/m² de bambu em partículas

Tabela 17 - Resultados da análise de humidade

Amostra	Peso inicial	Peso final	Resultado	Tempo
Sem_bb_08	5.021 g	4.623 g	7,9%	00:19:59
Sem_bb_02	5.006 g	4.171 g	16,7%	00:19:59
Com_bb_08	5.005 g	4.615 g	7,8%	00:19:58
Com_bb_01	5.018 g	4.207 g	16,2%	00:19:59

Percentagem de água retirada na amostra aos 5.0 e 20.0min.

Amostra	5.0min	20.0min	A.C.*	Observações
Sem_bb_08	1,1%	7,9%	6,8%	Muito baixo
Sem_bb_02	0,2%	16,7%	16,5%	
Com_bb_08	0,9%	7,8%	6,9%	Muito baixo
Com_bb_01	0,5%	16,2%	15,7%	

*Água Combinada

5.4. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO

Foram realizados três provetes cúbicos com 7cm de aresta e ensaiados até à rotura. O valor de tensão de rotura é calculado através do valor da carga de rotura.

Os provetes do grupo controlo obtiveram uma média de ensaio de 27,3kN com um desvio padrão de 0,50kN. A tensão de rotura foi obtida pela divisão da carga de rotura pela área da secção transversal recta e representa um valor médio de 5,6Mpa.

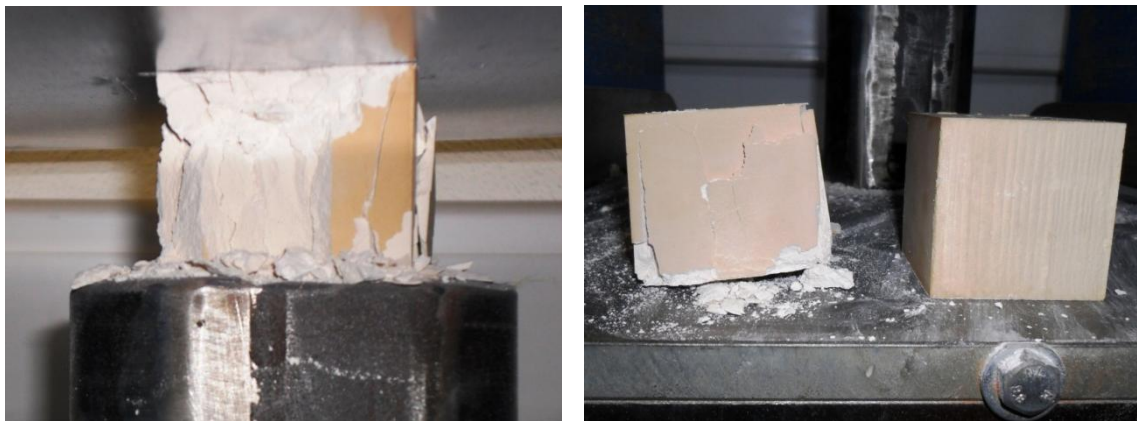


Figura 59 - Ensaio de compressão; provetes de controlo

Tabela 18 - Resultados do ensaio de compressão

Resistência à compressão:	#1	#2	#3
Controlo	26,7 kN	27,5 kN	27,6 kN
Com Bambu	22,6 kN	20,1 kN	24,3 kN

Os provetes do grupo de compósito com bambu obtiveram uma média de ensaio de 22,3kN com um desvio padrão de 2,1kN. A tensão de rotura foi obtida pela divisão da carga de rotura pela área da secção transversal recta e representa um valor médio de 4,6MPa.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Onde:

σ Tensão de rotura [MPa]

F Força [kN]

A Área [m²]

O valor de tensão de rotura no compósito de bambu e gesso é cerca de 18% inferior ao grupo controlo pelo que contraria a bibliografia estudada. De facto o esperado seria o aumento da resistência à compressão pelo que esta diminuição pode ser causa da idade, humidade e/ou condições de secagem que os colmos foram submetidos após o corte uma vez que as amostras de bambu utilizadas estiveram armazenadas ao exterior pelo período de cerca de 2 anos após o corte, totalmente expostas aos elementos sem qualquer tipo de protecção.

Tabela 19 - Análise estatística, ensaio de compressão

	Controlo	Bambu
$x_{méd.}$	27,3 kN	22,3 kN
s	0,5 kN	2,1 kN
$\sigma_{máx.}$	5,6 MPa	4,6 MPa

6. CONCLUSÕES

Com este trabalho pretendeu-se evidenciar a importância das fibras naturais como matéria-prima para a construção de materiais alternativos para a indústria da construção. Estes estudos têm como principal objectivo a preservação do meio ambiente, a redução da pegada ecológica que o sector da construção civil tem, quer pelo consumo indiscriminado de matérias-primas quer pela produção de resíduos sólidos de construção e demolição, e ainda possibilitar a economia de recursos como custos e materiais, favorecendo ainda construções menos prejudiciais ao ambiente e socialmente correctas.

Tabela 20 - Resultados dos ensaios às placas grupo Controlo e grupo com Bambu

	Controlo	Bambu
Massa [kg/m ²]	11,8 kg/m ²	11,6 kg/m ²
%W1 t=120min.; 150°C	7,1%	7,9%
Flexão [kN]	437 kN	498 kN
Flexão [Mpa]	3,4 MPa	3,9 MPa
Análise de humidade t=20min.	16,7%	16,2%
Compressão [kN]	27,3 kN	22,3 kN
Compressão [Mpa]	5,6 MPa	4,6 MPa

Baseado nas condições em que estes ensaios foram desenvolvidos é possível aferir que a adição de 15% de partículas de bambu na produção de placas laminado aumentou significativamente resistência à flexão em comparação com as placas do grupo controlo com exactamente a mesma composição sem partículas. Os testes e ensaios realizados demonstram um aumento de 14% em relação ao grupo de controlo.

Refere-se no entanto que os ensaios não cumpriram com os mínimos especificados na Norma: Tabela 2 - Valores mínimos da carga de rotura à flexão para placas de gesso laminado dos tipos A, D, E, F, H e I; UNE – EN 520:2005+A1:2010.

A adição de 15% de partículas de bambu à composição das placas de gesso laminado contribui ainda para facilitar a eliminação da água no processo de secagem, pelo que representa uma diminuição com os gastos energéticos nesta fase do processo. Quanto maior for o teor em fibras, menor será a retracção plástica. Posteriormente, com o material endurecido, a adição das fibras auxilia a eliminação de água do interior do compósito, pelo que contribui para o aumento da retracção livre e uma maior perda de massa.

Os resultados do ensaio de compressão não apresentaram uma conclusão de encontro com o presente na bibliografia analisada pelo que as condições de armazenamento após a recolha dos colmos que deram origem às partículas de bambu se verificaram não ser as mais indicadas.

Importa ainda referir que numa possível utilização do bambu como fibras de reforço natural às placas de gesso laminado deverá ser considerada a hipótese de uma possível plantação de bambu perto de uma unidade de produção de placas de gesso laminado. Esta proximidade poderia fornecer uma quantidade significativa de biomassa que poderia ser utilizada como matéria-prima para produção de energia que seria utilizada no processo de secagem das placas, contribuindo assim para a diminuição do gasto com utilização de outro tipo de fonte energética (como por exemplo o gás natural ou fuel óleo).

7. PERSPECTIVAS FUTURAS

O objectivo deste estudo foi o de dar um pequeno contributo para a divulgação e desenvolvimento de tecnologias construtivas utilizando matérias-primas de reduzido impacte ambiental.

A utilização de partículas de bambu conferiu propriedades aditivas às placas, como o aumento da resistência mecânica, redução do peso e ainda para facilitar o processo de secagem promovendo a extracção da água livre. Estes são resultados bastante interessantes, sendo necessário pesquisas futuras para esclarecimento de algumas das dúvidas aqui levantadas.

Em geral deverão ser melhoradas as condições de execução das placas, algumas melhorias passariam pela adopção de molduras em aço inox sob superfície de vidro ao invés da madeira utilizada uma vez que se verificou a degradação desta à medida que as placas iam sendo executadas. Os moldes em aço inox iriam também facilitar o processo de desmoldagem e retirada das placas. As estufas a utilizar no processo de secagem deverão conter dimensões que permitam a colocação das placas em plano horizontal e permitir ainda a circulação de ar dentro da estufa de modo a garantir uma secagem homogénea de todas as placas. Na execução das placas deverá ser contemplada a introdução de espuma para diminuir o peso destas e aproximar a execução o mais fielmente possível ao método industrial.

Recomenda-se ainda a medição do tempo de presa das argamassas de gesso estudadas, com e sem bambu comparando-as entre si. Verificou-se um ligeiro aumento do tempo de presa das placas nas misturas com bambu mas este apenas foi verificado empiricamente.

As partículas de bambu utilizadas deverão alvo de um maior controlo após corte das canas e a sua idade deverá ser correctamente determinada. Deverá ainda ser contemplada a

utilização de amostras de bambu verde, obtido através de canas cortadas de plantas de idade adulta (5 anos). Deste modo retirar-se-á a incerteza que o eventual mau acondicionamento (como a exposição constante aos elementos) das amostras utilizadas poderá influir negativamente nos resultados obtidos.

Será recomendável verificar com elevado grau de precisão, a variação da quantidade de água necessária nas placas com bambu, visto que, houve a necessidade de introduzir uma maior quantidade de água nas argamassas que continham bambu.

Recomenda-se ainda a execução de um maior número de ensaios de modo a garantir uma completa caracterização do material: Reacção ao fogo, Factor de resistência ao vapor de água, Resistência à flexão transversal, Resistência Térmica, Resistência ao impacto, Isolamento directo ao ruído aéreo, Absorção Acústica e Absorção de água.

Poder-se-á ainda questionar a necessidade de um estudo de viabilidade económica para a produção de placas com adição de bambu e o estudo de um caso prático numa obra de reabilitação de modo a determinar a degradação ao uso e exposição aos elementos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beraldo, A. L. 1997. Bambu-Cimento: Alternativa para Construções Rurais. *Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*. São Paulo : ANTAC.

Beraldo, A. L. e Vieira, F. de F. 2003. Argamassa com adição de fibras de sisal. *Simpósio Brasileiro de tecnologia em argamassas*. São Paulo : Página & Letras Editora e Gráfica.

Beraldo, A. L. 1994. *Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis-à-vis des variations d'humidité*. Nancy, France : Université de Nancy.

Beraldo, A. L., et al. 2003. *Bambu: Características e aplicações*. Campinas, Unicamp: Tecnologias e materiais alternativos de construção.

Beraldo, A. L., et al. 1998. Tratamentos físico-químicos sobre a resistência à compressão de compósitos madeira-cimento. *Encontro Brasileiro de madeiras e de estruturas em madeira*. Florianópolis : Ibramen.

Biblis, L. O. 1968. *Effect on the setting of southern pine-cement mixtures*. s.l. : Forest products journal.

Cincotto e Kaupatez. 1988. *Seleção de materiais quanto à actividade pozolânica*. São Paulo : R.M.Z.

Cortez, J. B. e Ino, A. 1998. *Utilização do Bambu na Produção de Habitação de Interesse Social – Compilação de Exemplos Construtivos*. São Paulo : Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira.

Ghavami, K. 1992. *Bambu, um material alternativo na engenharia*. s.l. : Engenharia.

Hernandez, O. e Oteiza, V. 1991. Analysis of critical length. *Natural fiber-gypsum matrix composites*.

Hidalgo López, O. 1974. *Bambú, su cultivo y aplicaciones en: Fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería e artesanía*. Cali : Italgraf.

Höhl, Bernardo. 2010. Rutenium. *Biblioteca Rutenium*. [Online] 2010. [Citação: 16 de Abril de 2011.] <http://www.rutenium.com.br/>.

Hubner, The industrial production of gypsum boards with reinforcing wood flakes, 1985, TIZ-Fachbenchte 109 (12) 908-916

Hsiung, W. 1988. *Prospects for bamboo development in the world*. Prafance : IBC.

Ibéria, Gyptec. 2010. www.gyptec.eu. *Gyptec Ibéria*. [Online] 2010. www.gyptec.eu.

Janssen, J. J. 1989. *Building with bamboo*. s.l. : Intermediate Tecnology Publications.

Janssen, J. J. 1988. *Building with bamboo. Intermediate Tecnology Publications*.

Jorillo, J. R. e Suzuki. 1995. *Morphological and flexural properties of lightweight gypsum based*. 1995. Vol. Journal of ferrocement 25.

Jorillo J.R., Suzuki, Morphological and flexural properties of lightweight gypsum based fiber reinforced composites, 1995, Journal of ferrocement 25 (4) 313-330

Kossatz, US 4 328 178: Process of producing a building product of gypsum, particularly a gypsum slab

Lewry W., 1994, The setting of gypsum plaster: part I - The hydration of calcium sulfate hemihydrates, Journal of materials science 29 5279-5284.

Lewry W., The setting of gypsum plaster: part II - The development of microstructure and strength, 1994, Journal of materials science 29 5524-5528

Lewry W., The setting of gypsum plaster: part III - The effect of additives and impurities, 1994, Journal of materials science 29 6085-6090

Liese, W. 1998. *The anatomy of bamboo culms. Technical Report. International network of bamboo and Rattan.* Beijing : Peoples Republic of China.

Lopez, O. H. 1981. *Manual de construccion com bambu.* Universidad Nacional de Colombia. Cali : Estudios Técnicos Colombianos Ltda.

Mahler, DB e Ady, AB. 1960. *Explanation for the hygroscopic setting expansion of dental gypsum products.* s.l. : J Denr Res.

Marçal, V. H. 2011. *Uso do Bambu na construção civil.* Brasília : Universidade de Brasília.

Martins, J.C., et al. 2004. Avaliação do Potencial de Aplicação de Barras de Bambu em Sistemas de Cobertura. *Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável.* São Paulo : SmartSystem Consulting.

Mendonça, Paulo. 2005. *Habitar sob uma segunda pele.* Guimarães : Universidade do Minho.

Miravete, A. 1994. *Los nuevos materiales en la construcción.* Zaragoza : Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza.

Nascimento, S. Q. e Souza, F. A. M. 2004. *O Uso do Bambu como Tecnologia Construtiva para Construções de Interesse Social: o caso de Juvenópolis.* São Paulo : Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

- Nolhier. 1986. *Construire en plâtre*. Paris : L'Harmattan.
- O.N.U. 1992. *The use of bamboo and reeds in building constructions*. s.l. : United Nations Department of Economic and Social Affaris.
- Peraza Sánchez, J. Enrique. 2000. *Carpinteria - Puertas, Ventanas e Escaleras de Madera*. Madrid : Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.
- Peraza Sanchez, José Enrique. 1995. *Casas de madera – Los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares*. AITIM : Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.
- Pereira. 1973. *Pefil Analítico da Gipsita*. Rio de Janeiro : DNPM.
- Pereira, M. A. e Salgado, M. H. 2006. Proyecto bambú: determinación de las características mecánicas de listones laminados del bambú gigante (*Demdrocalamus giganteus*) cultivado en la Unesp de Bauru/S.P./Brasil. *Memórias del Tercer Simposio Latinoamericano de bambú*. Ecuador : s.n.
- Pereira, M. A. R. e Beraldo, A. L. 2008. *Bambu de corpo e alma*. Bauru : Canal 6 editora, 2008. 2ª edição.
- Pereira, M.A.R. 2001. *Bambu, Espécies Características & Aplicações*. UNESP/Campus Debauru : s.n.
- Ralph, Jolyon. Mindat.org - The mineral and locality database. [Online] [Citação: 16 de Abril de 2011.] <http://www.mindat.org/min-1784.html>.
- Ryge, G e Fairhurst, C.W. 1955. *Hygroscopic expansion*. s.l. : J. Dent. Res., 1955. v. 35.

Sales, A. T. C. e Ghavami, K. 2004. Retração Plástica em Compósitos Cimentícios Reforçados com Polpa de Bambu. *Conferência brasileira de materiais e tecnologias não-convencionais: habitações e infra-estrutura de interesse social brasil*. Pirassununga : s.n.

Schniewind, A. P. 1988. Bamboo. *Consise Encyclopedia of wood & wood-based materials*. London : Pergamon Press.

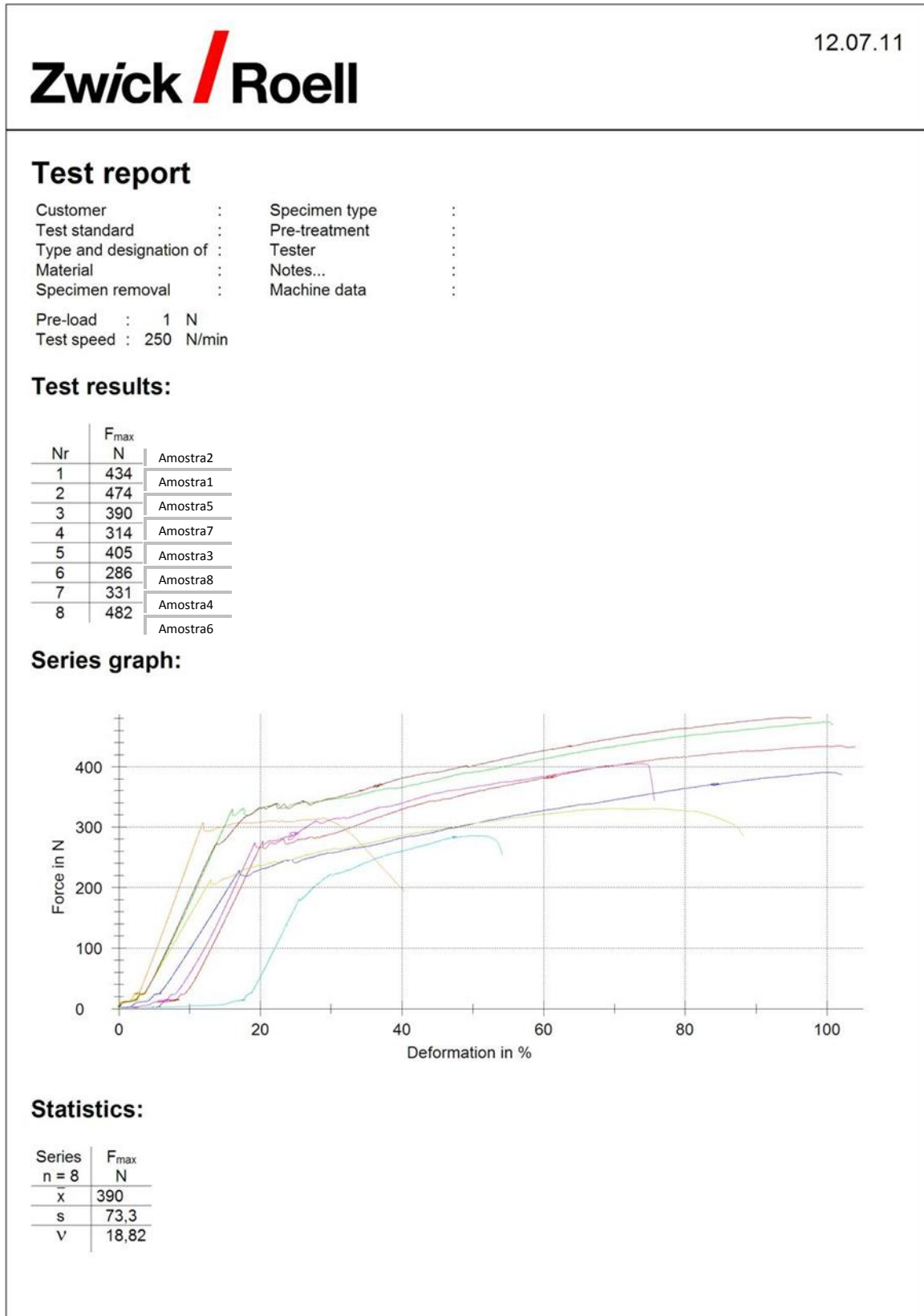
Silva, I. C. e Beraldo, A. L. 2010. *Plaster-bamboo particles composite*. School of Agricultural Engineering Campinas State University : s.n..

SIMATUPANG, KASIM, SEDDIG, SMID, Improving the bond between wood and gypsum, 1992, Proc. of the intern. conf. of inorganic composites

Sobrinho, António Christino Pereira de Lyra, et al. 2001. *Balanço Mineral Brasileiro*.

9. ANEXOS

9.1. ANEXO A - ENSAIO DE FLEXÃO – AMOSTRAS CONTROLO



9.2. ANEXO B - ENSAIO DE FLEXÃO – AMOSTRAS COM BAMBU

Test report

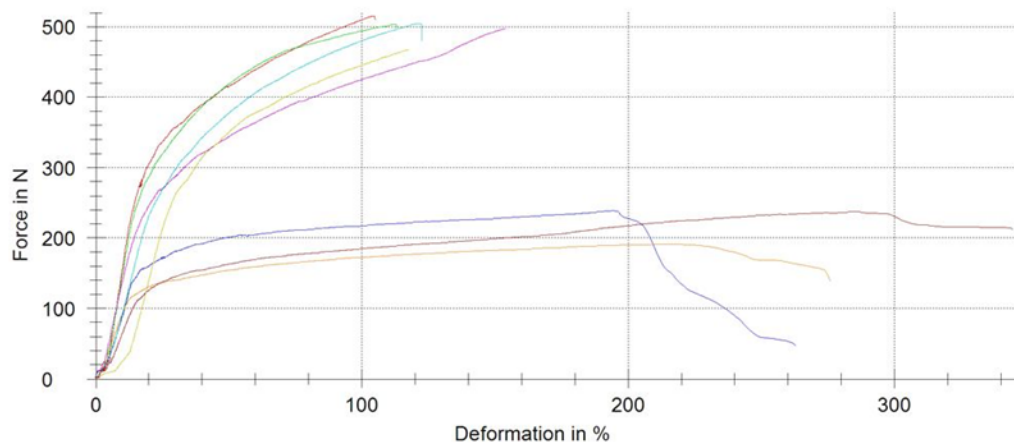
Customer : Specimen type :
Test standard : Pre-treatment :
Type and designation of : Tester :
Material : Notes... :
Specimen removal : Machine data :

Pre-load : 1 N
Test speed : 250 N/min

Test results:

Nr	F _{max} N
1	516
2	504
3	239
4	191
5	497
6	505
7	467
8	238

Series graph:



Statistics:

Series n = 8	F _{max} N
\bar{x}	394
s	144
v	36,49

9.3. ANEXO C – RESULTADOS DA ANÁLISE DE HUMIDADE – AMOSTRAS CONTROLO

Amostra número	Tempo	Humidade (%)	Amostra número	Tempo	Humidade (%)
1	00:00:00	0,00%	2	00:00:00	0,00%
1	00:00:15	0,20%	2	00:00:15	0,10%
1	00:00:30	0,30%	2	00:00:30	0,10%
1	00:00:45	0,50%	2	00:00:45	0,10%
1	00:01:00	0,60%	2	00:01:00	0,10%
1	00:01:15	0,70%	2	00:01:15	0,10%
1	00:01:30	0,80%	2	00:01:30	0,10%
1	00:01:45	0,80%	2	00:01:45	0,10%
1	00:02:00	0,90%	2	00:02:00	0,20%
1	00:02:15	1,00%	2	00:02:15	0,20%
1	00:02:30	1,00%	2	00:02:30	0,20%
1	00:02:45	1,10%	2	00:02:45	0,20%
1	00:03:00	1,10%	2	00:03:00	0,20%
1	00:03:15	1,30%	2	00:03:15	0,20%
1	00:03:30	1,40%	2	00:03:30	0,20%
1	00:03:45	1,60%	2	00:03:45	0,20%
1	00:04:00	1,80%	2	00:04:00	0,20%
1	00:04:15	2,10%	2	00:04:15	0,20%
1	00:04:30	2,30%	2	00:04:30	0,20%
1	00:04:45	2,60%	2	00:04:45	0,20%
1	00:05:00	2,80%	2	00:05:00	0,20%
1	00:05:15	3,10%	2	00:05:15	0,30%
1	00:05:30	3,30%	2	00:05:30	0,50%
1	00:05:45	3,60%	2	00:05:45	1,00%
1	00:06:00	3,80%	2	00:06:00	1,60%
1	00:06:15	4,10%	2	00:06:15	2,20%
1	00:06:30	4,30%	2	00:06:30	2,80%
1	00:06:45	4,50%	2	00:06:45	3,40%
1	00:07:00	4,80%	2	00:07:00	4,00%
1	00:07:15	5,00%	2	00:07:15	4,60%
1	00:07:30	5,20%	2	00:07:30	5,20%
1	00:07:45	5,40%	2	00:07:45	5,70%
1	00:08:00	5,60%	2	00:08:00	6,30%
1	00:08:15	5,80%	2	00:08:15	6,80%
1	00:08:30	5,90%	2	00:08:30	7,30%
1	00:08:45	6,10%	2	00:08:45	7,90%
1	00:09:00	6,30%	2	00:09:00	8,40%
1	00:09:15	6,50%	2	00:09:15	8,80%
1	00:09:30	6,60%	2	00:09:30	9,30%
1	00:09:45	6,80%	2	00:09:45	9,80%
1	00:10:00	6,90%	2	00:10:00	10,20%
1	00:10:15	7,10%	2	00:10:15	10,60%

Amostra número	Tempo	Humidade (%)
1	00:10:30	7,20%
1	00:10:45	7,30%
1	00:11:00	7,40%
1	00:11:15	7,50%
1	00:11:30	7,60%
1	00:11:45	7,70%
1	00:12:00	7,70%
1	00:12:15	7,80%
1	00:12:30	7,80%
1	00:12:45	7,90%
1	00:13:00	7,90%
1	00:13:15	7,90%
1	00:13:30	7,90%
1	00:13:45	7,90%
1	00:14:00	7,90%
1	00:14:15	7,90%
1	00:14:30	7,90%
1	00:14:45	7,90%
1	00:15:00	7,90%
1	00:15:15	7,90%
1	00:15:30	7,90%
1	00:15:45	7,90%
1	00:16:00	7,90%
1	00:16:15	7,90%
1	00:16:30	7,90%
1	00:16:45	7,90%
1	00:17:00	7,90%
1	00:17:15	7,90%
1	00:17:30	7,90%
1	00:17:45	7,90%
1	00:18:00	7,90%
1	00:18:15	7,90%
1	00:18:30	7,90%
1	00:18:45	7,90%
1	00:19:00	7,90%
1	00:19:15	7,90%
1	00:19:30	7,90%
1	00:19:45	7,90%
1	00:19:59	7,90%

Amostra número	Tempo	Humidade (%)
2	00:10:30	11,00%
2	00:10:45	11,40%
2	00:11:00	11,80%
2	00:11:15	12,10%
2	00:11:30	12,40%
2	00:11:45	12,80%
2	00:12:00	13,10%
2	00:12:15	13,40%
2	00:12:30	13,60%
2	00:12:45	13,90%
2	00:13:00	14,10%
2	00:13:15	14,40%
2	00:13:30	14,60%
2	00:13:45	14,80%
2	00:14:00	15,10%
2	00:14:15	15,30%
2	00:14:30	15,40%
2	00:14:45	15,60%
2	00:15:00	15,80%
2	00:15:15	15,90%
2	00:15:30	16,00%
2	00:15:45	16,10%
2	00:16:00	16,30%
2	00:16:15	16,30%
2	00:16:30	16,40%
2	00:16:45	16,50%
2	00:17:00	16,50%
2	00:17:15	16,60%
2	00:17:30	16,60%
2	00:17:45	16,60%
2	00:18:00	16,60%
2	00:18:15	16,60%
2	00:18:30	16,70%
2	00:18:45	16,70%
2	00:19:00	16,70%
2	00:19:15	16,70%
2	00:19:30	16,70%
2	00:19:45	16,70%
2	00:19:59	16,70%



9.4. ANEXO D – RESULTADOS DA ANÁLISE DE HUMIDADE – AMOSTRAS COM BAMBU

Amostra número	Tempo	Humidade (%)	Amostra número	Tempo	Humidade (%)
3	00:00:00	0,00%	4	00:00:00	0,00%
3	00:00:15	0,10%	4	00:00:15	0,10%
3	00:00:30	0,20%	4	00:00:30	0,10%
3	00:00:45	0,30%	4	00:00:45	0,20%
3	00:01:00	0,40%	4	00:01:00	0,20%
3	00:01:15	0,40%	4	00:01:15	0,20%
3	00:01:30	0,50%	4	00:01:30	0,30%
3	00:01:45	0,60%	4	00:01:45	0,30%
3	00:02:00	0,60%	4	00:02:00	0,30%
3	00:02:15	0,60%	4	00:02:15	0,30%
3	00:02:30	0,70%	4	00:02:30	0,40%
3	00:02:45	0,70%	4	00:02:45	0,40%
3	00:03:00	0,70%	4	00:03:00	0,40%
3	00:03:15	0,70%	4	00:03:15	0,40%
3	00:03:30	0,80%	4	00:03:30	0,40%
3	00:03:45	0,80%	4	00:03:45	0,40%
3	00:04:00	0,80%	4	00:04:00	0,40%
3	00:04:15	0,80%	4	00:04:15	0,50%
3	00:04:30	0,80%	4	00:04:30	0,50%
3	00:04:45	0,80%	4	00:04:45	0,50%
3	00:05:00	0,90%	4	00:05:00	0,50%
3	00:05:15	1,00%	4	00:05:15	0,60%
3	00:05:30	1,20%	4	00:05:30	0,80%
3	00:05:45	1,50%	4	00:05:45	1,20%
3	00:06:00	1,80%	4	00:06:00	1,80%
3	00:06:15	2,10%	4	00:06:15	2,30%
3	00:06:30	2,40%	4	00:06:30	2,90%
3	00:06:45	2,70%	4	00:06:45	3,50%
3	00:07:00	3,00%	4	00:07:00	4,10%
3	00:07:15	3,30%	4	00:07:15	4,70%
3	00:07:30	3,60%	4	00:07:30	5,30%
3	00:07:45	3,90%	4	00:07:45	5,90%
3	00:08:00	4,20%	4	00:08:00	6,40%
3	00:08:15	4,40%	4	00:08:15	7,00%
3	00:08:30	4,70%	4	00:08:30	7,50%
3	00:08:45	5,00%	4	00:08:45	8,00%
3	00:09:00	5,20%	4	00:09:00	8,50%
3	00:09:15	5,50%	4	00:09:15	8,90%
3	00:09:30	5,70%	4	00:09:30	9,40%
3	00:09:45	5,90%	4	00:09:45	9,80%
3	00:10:00	6,10%	4	00:10:00	10,30%
3	00:10:15	6,30%	4	00:10:15	10,70%

Amostra número	Tempo	Humidade (%)
3	00:10:30	6,50%
3	00:10:45	6,70%
3	00:11:00	6,90%
3	00:11:15	7,10%
3	00:11:30	7,20%
3	00:11:45	7,30%
3	00:12:00	7,50%
3	00:12:15	7,50%
3	00:12:30	7,60%
3	00:12:45	7,70%
3	00:13:00	7,70%
3	00:13:15	7,70%
3	00:13:30	7,70%
3	00:13:45	7,70%
3	00:14:00	7,80%
3	00:14:15	7,80%
3	00:14:30	7,80%
3	00:14:45	7,80%
3	00:15:00	7,80%
3	00:15:15	7,80%
3	00:15:30	7,80%
3	00:15:45	7,80%
3	00:16:00	7,80%
3	00:16:15	7,80%
3	00:16:30	7,80%
3	00:16:45	7,80%
3	00:17:00	7,80%
3	00:17:15	7,80%
3	00:17:30	7,80%
3	00:17:45	7,80%
3	00:18:00	7,80%
3	00:18:15	7,80%
3	00:18:30	7,80%
3	00:18:45	7,80%
3	00:19:00	7,80%
3	00:19:15	7,80%
3	00:19:30	7,80%
3	00:19:45	7,80%
3	00:19:58	7,80%

Amostra número	Tempo	Humidade (%)
4	00:10:30	11,10%
4	00:10:45	11,40%
4	00:11:00	11,80%
4	00:11:15	12,10%
4	00:11:30	12,50%
4	00:11:45	12,80%
4	00:12:00	13,10%
4	00:12:15	13,30%
4	00:12:30	13,60%
4	00:12:45	13,90%
4	00:13:00	14,10%
4	00:13:15	14,30%
4	00:13:30	14,50%
4	00:13:45	14,70%
4	00:14:00	14,90%
4	00:14:15	15,10%
4	00:14:30	15,20%
4	00:14:45	15,30%
4	00:15:00	15,40%
4	00:15:15	15,50%
4	00:15:30	15,60%
4	00:15:45	15,70%
4	00:16:00	15,80%
4	00:16:15	15,90%
4	00:16:30	15,90%
4	00:16:45	16,00%
4	00:17:00	16,00%
4	00:17:15	16,00%
4	00:17:30	16,10%
4	00:17:45	16,10%
4	00:18:00	16,10%
4	00:18:15	16,10%
4	00:18:30	16,10%
4	00:18:45	16,10%
4	00:19:00	16,10%
4	00:19:15	16,20%
4	00:19:30	16,20%
4	00:19:45	16,20%
4	00:19:59	16,20%

9.5. ANEXO E – FICHA DE CARACTERÍSTICAS SIKA-AER®

Construction	Ficha de Produto Edição de Janeiro 2009 Nº de identificação: 1.44 Versão nº 13 Sika-AER® 5	
		
	Sika-AER® 5 Introdutor de ar	
	Descrição do produto	Sika-AER® 5 é um adjuvante introdutor de ar para betão de acordo com a norma EN 934-2:T5. Sika-AER® 5 permite aumentar a quantidade de ar ocluído no betão, sob a forma de bolhas finas muito estáveis e uniformemente repartidas no betão. Devido às suas características (dimensão das bolhas de ar, estabilidade no tempo do ar ocluído, distribuição homogénea) o Sika-AER® 5 permite obter betões endurecidos com uma maior resistência às acções do gelo-degelo.
	Utilizações	Betão submetido à acção gelo-degelo: <ul style="list-style-type: none">■ Obras na montanha.■ Obras de arte.■ Estradas em betão.■ Barragens. Betão com baixo teor de elementos finos: Quando há falta de finos, a betonagem é difícil e nestes casos, a utilização do Sika-AER® 5, que actua como corrector granulométrico, torna o betão mais trabalhável e mais fácil de betonar, devido ao efeito lubrificante de "rolamento de esferas" das bolhas de ar. Betonagem em moldes deslizantes: O adjuvante Sika-AER® 5 aumenta a tixotropia do betão e permite realizar a betonagem em contínuo: calhas, valetas, etc.
	Características / Vantagens	As bolhas de ar, de diâmetro inferior ao dos grãos de cimento e da areia mais fina, actuam como finos deformáveis e melhoram as propriedades reológicas do betão fresco: <ul style="list-style-type: none">■ Aumentando a trabalhabilidade do betão.■ Conferindo um melhor aspecto ao betão após a desmoldagem.■ Limita o efeito da capilaridade ou sucção capilar no betão endurecido, bloqueando a penetração dos líquidos ao nível da bolha de ar. A diminuição da capilaridade aumenta a durabilidade do betão submetido aos ciclos de gelo-degelo.
	Certificados / Boletins de ensaio	Conforme as especificações da norma EN 934-2.
	Dados do produto	
	Aspecto / Cor	Líquido castanho.
	Fornecimento	25 e 200 kg.
Armazenagem e conservação	O produto deve estar armazenado em boas condições, nas embalagens de origem bem fechadas. Conserva-se 6 meses a partir da data de fabrico.	
		

Dados técnicos

Base química Compostos tensioactivos.

Massa volúmica
(23 ± 2 °C) 1,03 ± 0,02 kg/dm³.

pH (23 ± 2 °C) 11,0 ± 1,0.

Teor de sólidos 8,5 ± 0,8%.

Teor em iões cloreto < 0,1%.

Temperatura de cristalização - 1 °C.

Informação sobre o sistema

Pormenores de aplicação

Consumo / Dosagem Gama de utilização: 0,1% a 0,7% litro para 100 kg de cimento, segundo a quantidade de ar introduzido desejada.
A dosagem normal de Sika-AER® 5 é de 0,15% sobre o peso do cimento.
A quantidade de ar introduzido é função da dosagem do Sika-AER® 5, mas depende também da composição do betão (natureza e quantidade de finos), da sua plasticidade, do tempo de amassadura e da limpeza dos agregados, o que impõe um controlo diário em estaleiro da regularidade da percentagem de ar oculto.

Instruções de aplicação

Mistura Introduzir Sika-AER® 5 na água de amassadura antes de esta ser despejada na betoneira. Misturar o betão pelo menos 90 segundos e manter constante o tempo de mistura para sucessivas amassaduras.
Nunca adicionar o adjuvante ao cimento ou agregados, em seco (redução de eficácia).

Aplicação Sika-AER® 5 permite o fabrico de betão de qualidade, consequentemente devem ser cumpridas as regras de boa prática para o fabrico, a colocação e a cura do betão.

Limpeza de ferramentas Com água.

Importante Recomenda-se a realização de ensaios prévios para se encontrar a dosagem óptima do adjuvante e sempre que se altere a composição do betão.
Com geada intensa o adjuvante pode gelar, porém uma vez descongelado lentamente, deve verificar-se que o produto não ficou alterado.
Para qualquer esclarecimento, consultar o Departamento Técnico Sika.

Nota Todos os dados técnicos referidos nesta Ficha de Produto são baseados em ensaios laboratoriais. Ensaios realizados noutras condições para determinação das mesmas características podem dar resultados diferentes devido a circunstâncias que estão fora do nosso controlo.

Risco e segurança

Medidas de segurança Mercadoria não perigosa para transporte.
Este produto não está classificado de acordo com a legislação da UE.
Para mais informações consultar a Ficha de Dados de Segurança do produto e o respectivo rótulo.

"O produto está seguro na C* Seguros XL Insurance Switzerland (Apólice nº CH00003018LI05A), a título de responsabilidade civil do fabricante".

A Informação e em particular as recomendações relacionadas com aplicação e utilização final dos produtos Sika, são fornecidas em boa fé e baseadas no conhecimento e experiência dos produtos sempre que devidamente armazenados, manuseados e aplicados em condições normais, de acordo com as recomendações da Sika. Na prática, as diferenças no estado dos materiais, das superfícies, e das condições de aplicação em obra, são de tal forma imprevisíveis que nenhuma garantia a respeito da comercialização ou aptidão para um fim em particular, nem qualquer responsabilidade decorrente de qualquer relacionamento legal, poderão ser inferidas desta Informação, ou de qualquer recomendação por escrito, ou de qualquer outra recomendação dada. O produto deve ser ensaiado para aferir a adequabilidade do mesmo à aplicação e fins pretendidos. Os direitos de propriedade de terceiros deverão ser observados. Todas as encomendas aceites estão sujeitas as nossas condições de venda e de entrega vigentes. Os utilizadores deverão sempre consultar a versão mais recente da nossa Ficha de Produto específica do produto a que diz respeito, que será entregue sempre que pedida.



Sika Portugal, SA
R. de Santarém, 113
4400-292 V. N. Gaia
Portugal
Tel. +351 22 377 69 00
Fax +351 22 370 20 12
www.sika.pt



9.6. ANEXO F – FICHA DE CARACTERÍSTICAS SIKA® VISCOCRETE® G-2

Construction	Product Data Sheet	
	Edition 07/01/2011	
	Identification no:	
	01 13 01 01 100 0 000420	
	Sika® Viscocrete® G-2	
	<h1>Sika® Viscocrete® G-2</h1>	
	<h2>High range water reducing/superplasticising admixture</h2>	
Product Description	Sika® ViscoCrete® G-2 is a high-performance superplasticiser and water reducer based on Sika® ViscoCrete® polycarboxylate polymer technology.	
Uses	<p>Sika® ViscoCrete® G-2 is formulated for application in systems with high calcium sulfate content or pure gypsum binders.</p> <p>Sika® ViscoCrete® G-2 is mainly used for the following applications:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Gypsum boards (also: plasterboards, wallboards), partition panels, ceiling tiles ■ Gypsum fibreboards, building elements, blocks ■ Building plaster, render, stucco, bonding/filling compound, molding plaster, dental & medical plaster 	
Characteristics / Advantages	<p>Sika® ViscoCrete®, Sika's polycarboxylate technology, works based on a combination of electrostatic forces and steric repulsion effects. Thus, solid particles can be effectively dispersed.</p> <p>The benefits of Sika® ViscoCrete® G-2 include, but are not limited to the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ High water reduction ■ Excellent flowability ■ Rapid adsorption ■ Very low retardation ■ Compatible with other additives ■ Free of formaldehyde (unlike SNF/SMF) and ammonia <p>Especially when utilised for gypsum board production the use of Sika® ViscoCrete® G-2 may result in:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Short mixing time ■ Reduced placing- and compacting efforts ■ Shorter drying time ■ Improved shrinkage and creep behaviour ■ Higher strength adjustable ■ Reduced water consumption and less waste water ■ Reduced energy consumption & CO₂-emission ■ Increased production rate and thus enlarged capacity ■ Overall reduction in production costs 	
Tests		
Approval / Standards	Sika® ViscoCrete® G-2 is tested according to Sika® internal testing procedure	



Product Data

Form

Appearance / Colour Light brown / nearly colourless liquid

Packaging 1000 Kg IBC and Bulk Tanker

Storage

Storage Conditions / Shelf Life 12 months from date of production if stored properly in undamaged containers, in dry conditions at temperatures between 5°C and +25° C.
Protect from direct sunlight and frost.

Technical Data

Chemical Base Aqueous solution of modified polycarboxylates

Density 1.10 Kg/Litre

pH Value 4.5 ± 1.0

Conventional Dry Material Content 40.0 ± 1.0 M.-%

Total Chloride Ion Content % w/w <0.1%

Equivalent Sodium Oxide as % Na₂O w/w <2.0 %

System Information

Application Details

Consumption / Dosage Dosage range for typical applications: 0.05- 0.8 % by weight of binder.

Differences in calcium sulfate binder type, raw material sources, calcining methods, age and storage conditions of the binder and other individual parameters at the plant and/or job site can influence the superplasticiser consumption of gypsum binders. At high dosage bleeding and/or segregation may occur as well as retardation of setting.

Note: Preliminary testing is required to determine the exact dosage for your specific conditions. Please contact our technical service for more information and assistance.

Application Conditions / Limitations

Compatibility Sika® ViscoCrete® G-2 may be combined with many other Sika products as well as with most commonly used gypsum additives, like superplasticiser, stabilizer and defoamer. In combination i.e. with Sika® Retardan® improvements in flowability and setting-time adjustment may be achieved.

Important: Always conduct trials before combining products in specific mixes and contact our Technical Service Department for information and advice about any specific combinations.

Application Instructions	
Dispensing	Sika® ViscoCrete® G-2 is added to the gauging water.
Cleaning of Tools	Clean all tools and application equipment with water immediately after use. Hardened / cured material can only be removed mechanically.
Notes on Application / Limitations	When using Sika® ViscoCrete® G-2 a suitable mix design has to be taken into account and local material sources shall be trialled. Support from our Technical Service Department is recommended.
Local comments to be added third point down	Frost: If frozen and / or if precipitation has occurred, Sika® ViscoCrete® G-2 may be used after thawing slowly at room temperature followed by intensive remixing.
Value Base	All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.
Local Restrictions	Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.
Health and Safety Information	For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.
Legal Notes	The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



Sika Limited
 Watchmead
 Welwyn Garden City
 Hertfordshire
 AL7 1BQ
 United Kingdom

Phone +44 1707 394444
 Telefax +44 1707 329129
www.sika.co.uk, email: sales@uk.sika.com

