



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FAU - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PPG/FAU - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para
Habitações Econômicas:
Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade**

Anelizabete Alves Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida

**Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo
Área de Tecnologia**

Brasília - DF: setembro de 2013.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FAU - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PPG/FAU - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para
Habitações Econômicas:**
Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade

Anelizabete Alves Teixeira

Orientador: Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida

**Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo
Área de Tecnologia**

Brasília - DF: setembro de 2013.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 1011960.

Teixeira, Anelizabeth Alves.
T266d Desempenho de painéis de bambus argamassados para habitações econômicas : aplicação na arquitetura e ensaios de durabilidade / Anelizabeth Alves Teixeira. -- 2013.
xiv, 223 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação, 2013.
Inclui bibliografia.
Orientação: Jaime Gonçalves de Almeida.

1. Arquitetura de habitação. 2. Construção de bambu.
3. Sustentabilidade. I. Almeida, Jaime Gonçalves de.
II. Título.

CDU 728.22

CESSÃO DE DIREITOS

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese e emprestar ou vender tais cópias, somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Anelizabeth Alves Teixeira

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB
FAU - FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PPG/FAU - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

**Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para
Habitações Econômicas:**
Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade

Anelizabete Alves Teixeira

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós Graduação / Curso de Doutorado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, como parte integrante dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Doutora em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração em Tecnologia.

Aprovada por:

Prof. Dr. Jaime Gonçalves de Almeida
Orientador e Presidente da Banca (FAU / UnB)

Prof. Dr. Júlio Eustáquio de Melo
Membro Interno (FAU / UnB)

Prof. Dr. Janes Cleiton Alves de Oliveira
Membro Externo (FAU / UnB)

Prof. Dr. José Dafico Alves
Membro Externo (EEA / UEG)

Prof. Dr. Francisco Carvalho de Arruda Coelho
Membro Externo (EEC / UVA – CE)

Brasília – DF, 27 de setembro de 2013.

“No começo eu achei que eu estava lutando para salvar seringueiras,
em seguida, pensei que eu estava lutando para salvar a floresta amazônica.
Agora, percebi eu estou lutando para a humanidade”.

Chico Mendes

**Aos pais Adão e Maria Elisa, pelo amor e à vida.
Ao esposo Enio, pela entrega, dedicação e amor.
Aos filhos Pedro e Carolina, pela extensão da vida
e alegria constante.
Obrigada por existirem na minha vida.**

AGRADECIMENTOS

Agradecer é, antes de mais nada, reconhecer que nada fazemos sozinhos. É reconhecer aqueles que nos apoiaram e depuseram confiança em nossa capacidade.

Agradeço a CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pelo apoio financeiro sem o qual não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus amados pais, Adão e Maria Elisa, que sempre se esforçaram para que tivéssemos educação, saúde, conforto e carinho, cumprindo mais do que brilhantemente com a missão de serem pais. Agradeço por cada minuto de dedicação, paciência e conforto, comigo e com os meus filhos, em todas as fases desta conquista. Muito obrigada, devo tudo a vocês.

Agradeço, com todo o meu coração, ao meu esposo, Enio Pazini Figueiredo, grande companheiro, pai e incentivador. Sua dedicação, perseverança e sede de conhecimento são contagiantes, você é a minha inspiração. Agradeço-o por ser um pai e esposo maravilhoso. Serei sempre grata por sua preciosa colaboração, principalmente nos momentos mais difíceis desta caminhada.

Agradeço a vocês, meus filhos, Pedro e Carolina, que compreenderam a minha ausência e o meu cansaço, quando não podia brincar de ninja ou de boneca. Todo o meu esforço é dedicado a vocês, que são a razão do meu viver.

Agradeço aos meus irmãos, Paulo Iuri e Delenda, e em especial à minha irmã e arquiteta Marília, companheira de estudos, desde o início das nossas descobertas na arquitetura. Agradeço também a D. Eni, minha sogra, que esteve presente em todos os momentos, incentivando e colaborando. A todos vocês meu muito obrigada.

Agradeço ao meu orientador e amigo, Prof. Jaime Gonçalves de Almeida, pelo incentivo, interesse e dedicação. Pelas orientações seguras e competentes, que me fizeram crescer como profissional e como pessoa. Pela amizade sincera e por fazer com que eu gostasse “ainda mais” do nosso Bambu.

Agradeço ao Prof. José Dafico Alves por sua generosa dedicação e colaboração, durante todas as fases da pesquisa, desde as primeiras idéias. Muito obrigada por sua presença segura durante os ensaios, na elaboração dos cálculos e na correção dos textos.

Agradeço à Universidade de Brasília, ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação da FAU/UnB, Prof. Dr. Márcio Augusto Roma Buzar, a todos os Professores do Curso de Doutorado e aos funcionários da Secretaria do PPG/FAU/UnB.

Agradeço a NTNU (NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY - *Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology*) e à co-orientadora da Tese, Prof^ª Dr^ª Anne Grete Hestnes, durante o *Sandwich Program* (PHD Student Program - 2009 / 2010), em Trondheim, Noruega. Agradeço pela oportunidade e troca de experiências, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Amizade não é fruto apenas de simpatia recíproca entre as pessoas. É uma palavra sincera na hora da dúvida. É o empurrão prá frente, quando se julga já haver chegado ao fim da jornada. Agradeço aos amigos Roberto Magno, Ana Maria França, Sauro Mariano, Patrícia Vicente, Anna Ervick Johnsen (Norway), Caio Augusto e todos aqueles que, de alguma forma, me deram força e coragem.

Agradeço aos meus estagiários e amigos Thiego Cunha, Amanda Resende e Iara Tolentino, que muito contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, demonstrando competência e espírito de equipe.

Agradeço aos Professores Francisco Carvalho, Júlio Eustáquio, Janes Cleiton e José Dafico, pela importante participação na Banca Examinadora, contribuindo com o aperfeiçoamento deste trabalho.

Agradeço à Tia Teresa e ao Francisco, pela acolhida carinhosa na cidade de Brasília, pela agradável companhia e pelos almoços saborosos.

Agradeço à Universidade Federal de Goiás e à Universidade Católica de Goiás, que permitiram a realização dos ensaios em seus laboratórios, sem deixar de mencionar os amigos Agnaldo, Deusair e Manuel (EEC/UFG) e Flávio (PUC-GO).

Agradeço à empresa EMBAMBU, pelo apoio dado na fase executiva dos painéis, cedendo seu espaço físico, ferramentas e a imprescindível mão-de-obra do carpinteiro Cosme.

Agradeço a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, com a produção deste trabalho, possibilitando a sua realização.

Agradeço finalmente a Deus, o grande arquiteto do universo, que nos protege, nos dá força e nos ilumina. Em nome do Pai, do Filho e do Espírito Santo. Amém.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO	01

PARTE I: REVISÃO DA LITERATURA

1	A SUSTENTABILIDADE NA ARQUITETURA E OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	10
1.1	SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA	10
1.2	A DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES	17
1.3	MATERIAIS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL.....	20
1.4	O BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO.....	23
1.5	PAINÉIS DE VEDAÇÃO: MATRIZ INDUSTRIALIZADA E MATRIZ VEGETAL	37

PARTE II: MATERIAIS, MÉTODOS E RESULTADOS

2.	PROCESSO PROJETUAL E CONSTRUTIVO DOS PAINÉIS DE BAMBU E DA HABITAÇÃO ECONÔMICA	46
2.1	PROJETO E DETALHES CONSTRUTIVOS DOS PAINÉIS DE BAMBU.....	46
2.2	PROJETO ARQUITETÔNICO DA HABITAÇÃO ECONÔMICA	56

3	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIOS DE DURABILIDADE	64
3.1	PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIO DE ENVELHECIMENTO NATURAL	64
3.2	PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO	78
4.	ENSAIOS DE DURABILIDADE	94
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS BAMBUS <i>IN NATURA</i>	96
4.1.1	Caracterização visual	96
4.1.2	Umidade dos bambus <i>in natura</i>	98
4.1.3	Densidade dos bambus <i>in natura</i>	105
4.1.4	Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras	114
4.1.5	Ensaio de resistência à flexão perpendicular às fibras	120
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBUS ARGAMASSADO NÃO SUBMETIDOS AO ENVELHECIMENTO	124
4.2.1	Caracterização visual	124
4.2.2	Ensaio de aderência da argamassa	128
4.3	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBUS ARGAMASSADOS ENVELHECIDOS NATURALMENTE	134
4.3.1	Caracterização visual	136
4.3.2	Umidade dos bambus envelhecidos naturalmente	142
4.3.3	Densidade dos bambus envelhecidos naturalmente	145
4.3.4	Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras	149
4.3.5	Ensaio de resistência à flexão perpendicular às fibras	153
4.3.6	Ensaio de aderência da argamassa	157
4.4	CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBUS ARGAMASSADOS ENVELHECIDOS ACELERADAMENTE	161
4.4.1	Caracterização visual	167
4.4.2	Umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada	170
4.4.3	Densidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada	174
4.4.4	Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras	176
4.4.5	Ensaio de aderência da argamassa	185

PARTE III: ANÁLISE DOS RESULTADOS

5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	191
5.1	ANÁLISE DOS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO PAINEL DE BAMBU E DA HABITAÇÃO ECONÔMICA	191
5.1.1	Projeto arquitetônico do painel de bambu	191
5.1.2	Projeto arquitetônico da habitação econômica	196
5.2	A INFLUÊNCIA DO NÓ NAS AVALIAÇÕES DE UMIDADE E DENSIDADE DOS BAMBUS <i>IN NATURA</i>	199
5.2.1	Umidade	200
5.2.2	Densidade	202
5.3	DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DOS BAMBUS INSERIDOS EM PAINÉIS ARGAMASSADOS APÓS ENVELHECIMENTO NATURAL E ACELERADO	205
5.3.1	Densidade	205
5.3.2	Compressão paralela às fibras	207
5.3.3	Flexão perpendicular às fibras	211
5.3.4	Aderência à tração da argamassa de revestimento	212
5.3.5	Relação entre a densidade e as propriedades mecânicas do bambu ..	213
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	216

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura	Descrição	Fonte	Pág
Capítulo 1			
1.1	Imagens demonstram os sérios problemas ambientais que comprometem o equilíbrio geral de todos os ecossistemas do globo. a) Desertificação dos solos no nordeste brasileiro; b) Alto índice de poluição atmosférica na China; c) Poluição das águas dos rios na China; d) Alagamentos provocados pelas chuvas em São Paulo.	a) BRASILESCOLA, 2012; b) GRUPOESCOLA, 2012; c) VEJABEMVB, 2011; d) BETAOLEMELA, 2010	11
1.2	Assentamento informal em forma de "palafitas", na Bahia de Todos os Santos, Salvador - Bahia, Brasil.	UN-HABITAT, 2012	13
1.3	Handmade School, construída em Bangladesh (2005), apresentada como exemplo de arquitetura integrada ao meio ambiente e à cultura local.	HENRIKSON e GREENBERG, 2011	16
1.4	Detalhes construtivos da <i>Handmade School</i> , evidenciando o uso de materiais de baixo impacto ambiental como o bambu e a terra crua.	HENRIKSON e GREENBERG, 2011	17
1.5	Detalhes construtivos da <i>Handmade School</i> , evidenciando o uso de materiais de baixo impacto ambiental como o bambu e a terra crua.	HENRIKSON e GREENBERG, 2011	17
1.6	(a) e (b) Tijolos de adobe sendo aplicados em alvenaria.	ECOCENTRO, 2012	22
1.7	Casa de adobe produzida na Argentina.	CASASDEADOBE, 2012	22
1.8	Distribuição da floresta aberta de bambu no sudoeste da Amazônia (Acre), com aproximadamente 160.000 Km ² .	SILVEIRA, 2010	24
1.9	Floresta natural de bambu no sudeste da Amazônia (Acre, Brasil).	SILVEIRA, 2010	25
1.10	Partes que constituem um colmo de bambu.	BERALDO E PEREIRA, 2008	26
1.11	Tratamento dos colmos de bambu sob pressão.	MINKE, 2010.	29
1.12	Modelo de cabana tradicional construída em Quito, Equador.	TEIXEIRA, 2008	30
1.13	As cúpulas do monumento Taj Mahal, na Índia, foram feitas de bambu.	EFECADE, 2013	31
1.14	Iglesia sin religión, construída em Cartagena de Índias, Colômbia. Projeto do Arquiteto Simón Vélez.	ARCHLEAGUE, 2011	31
1.15	Vista interna da <i>Iglesia sin religión</i> : construção sustentável com apurado teor artístico.	ARCHLEAGUE, 2012	32
1.16	Vista externa do <i>Nomadic Museum</i> , espaço para exposições fotográficas, instalado na principal praça da Ciudad de México, no ano de 2008.	MINKE, 2010.	32
1.17	Vista interna do <i>Nomadic Museum</i> , <i>Ciudad de Mexico</i> .	MINKE, 2010.	33
1.18	Pilares feitos com bambu laminado, colados e aplicados em protótipo de habitação econômica, projeto desenvolvido pelo CPAB/UnB.	TEIXEIRA, 2010	34
1.19	Pilares feitos com bambu laminado, colados e aplicados em protótipo de habitação econômica, projeto desenvolvido pelo CPAB/UnB.	TEIXEIRA, 2010	34
1.20	(a) e (b) Bicicleta e guitarra feitas de bambu.	TEIXEIRA, 2012	35
1.21	Jangada feita de bambu utilizada como meio de transporte.	TEIXEIRA, 2012	35
1.22	Painéis de concreto celular aplicados na produção de habitações econômicas.	VEDAÇÃO.BLOGSPOT, 2013	38

Figura	Descrição	Fonte	Pág
1.23	Painéis de blocos cerâmicos a serem empregados na produção de habitações econômicas.	TÉCHNE, 2013	39
1.24	Painel de vedação com bambus em sua forma natural.	EBIOBAMBU, 2009	41
1.25	(a e b) Painel feito com peças trançadas de bambu.	MINKE, 2010	42
1.26	Gabarito para a produção de painel de bambu a ser preenchido com terra.	MINKE, 2010	42
1.27	Painel de vedação feito com bambus e terra crua.	TEIXEIRA, 2008	43
1.28	Painel de vedação com moldura de madeira e preenchimento com bambus finos.	TEIXEIRA, 2006	44
1.29	Edificação construída com painéis de bambu, que foram revestidos com argamassa nas fachadas externas.	TEIXEIRA, 2006	44
1.30	Casa Santander, na Colômbia. Construção com o uso de painéis de bambu em forma de esteira.	ACFA, 2005	45
1.31	Imagem da utilização de painéis de bambu na forma de esteira, após a aplicação da argamassa.	ACFA, 2005	45
1.32	Casa feita com painéis de bambu, argamassados nas faces externa e interna.	ACFA, 2005	46
Capítulo 2			
2.1	Vista frontal do painel de bambu proposto, com moldura de madeira.		49
2.2	Vista frontal dos painéis de bambu utilizados na fachada frontal da habitação.		50
2.3	Vista frontal dos painéis de bambu utilizados na fachada posterior da habitação.		50
2.4	Detalhe de fixação do pilar de bambu à viga baldrame (Detalhe 1 da Figura 2.1).		51
2.5	Detalhe em perspectiva do tarugo de madeira inserido no pilar de bambu.		51
2.6	Desenho esquemático da união entre o pilar de bambu e dois painéis, por meio de encaixe com a peça de madeira (tarugo). (Detalhe 2, da Figura 2.1).		52
2.7	Corte horizontal do painel, mostrando a fixação entre o pilar de bambu e os painéis.		53
2.8	Painel de bambu fixado ao pilar de bambu e à base de concreto (viga baldrame).		53
2.9	Etapas da aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento aos painéis de bambu.		54
2.10	Casa pré-fabricada de bambu (<i>Kit Casa Pronta</i>), comercializada na Costa Rica (1988).		55
2.11	Detalhe do painel de bambu utilizado na casa pré-fabricada de bambu (kit casa pronta), antes da aplicação da argamassa de revestimento.		55
2.12	Proposta arquitetônica da habitação econômica feita de bambu: planta baixa com especificações técnicas.		61
2.13	Proposta de <i>lay-out</i> da habitação econômica feita em bambu.		62
2.14	Perspectiva volumétrica da habitação econômica feita com painéis de bambu, desenvolvida a partir dos estudos preliminares.		63
2.15	Perspectiva volumétrica da habitação econômica, evidenciando o uso dos painéis de bambu.		63
Capítulo 3			
3.1	Desenho explodido da estrutura de bambu, sem as molduras fixadas ao painel.		65

Figura	Descrição	Fonte	Pág
3.2	Desenho arquitetônico do painel de bambu, com a moldura de bambu fixada à estrutura.		66
3.3	Ferramentas simples utilizadas na execução dos painéis (a); Serra circular, equipamento apropriado para o corte dos bambus (b).		67
3.4	Varas de bambu (<i>Bambusa tuldooides</i>) utilizadas como fechamento do painel de bambu.		68
3.5	Bambu cortado em meia-cana (<i>Phyllostachys bambusoides</i>), para confecção das molduras dos painéis.		68
3.6	Processo de “pinagem” para a união das molduras.		69
3.7	Moldura aplicada ao painel, após a pinagem das quinas cortadas em 45° e a amarração com arame galvanizado.		69
3.8	Travessas de bambu (<i>Dendrocalamus giganteus</i>) utilizadas na fixação das varas de fechamento ao painel.		70
3.9	Organização das varas de fechamento em solo plano.		71
3.10	As travessas de bambu são colocadas por cima e por baixo das varas de fechamento(a); Posteriormente, as travessas são parafusadas nas varas de bambu (b).		71
3.11	Toda a superfície da estrutura de bambu é lixada, a fim de promover maior aderência entre os bambu e a argamassa de revestimento a ser aplicada.		72
3.12	Imagem da calda de cimento sendo preparada no tanque (a) e das estruturas de bambu imersas na calda de cimento (b).		73
3.13	Pasta de cimento aderida ao bambu, após a mineralização (a); Cascas finas de cimento despregam-se facilmente dos painéis e caem ao chão (b).		74
3.14	Galão de adesivo de base acrílica, utilizado na preparação da argamassa de chapisco (a); Produto sendo misturado na água (b).		74
3.15	Preparação da argamassa de chapisco, com o auxílio de betoneira.		75
3.16	Estrutura de bambu após a aplicação da argamassa de chapisco (a); Detalhe da argamassa de chapisco aderida aos bambus (b).		75
3.17	Preparação da argamassa de revestimento na betoneira (a); Argamassa pronta para ser projetada às estruturas de bambu (b).		76
3.18	Argamassa sendo aplicada nas estruturas de bambu(a); Apenas a moldura de bambu deve ficar aparente (b).		76
3.19	Estruturas de bambu recobertas pela argamassa de revestimento (a); Argamassa de revestimento aplainada com régua de madeira (b).		77
3.20	Painel de bambu finalizado, após a secagem da argamassa de revestimento (a); Detalhe do painel de bambu após a secagem da argamassa (b).		77
3.21	Vista frontal do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.		79
3.22	Corte esquemático do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.		80
3.23	Vista superior do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.		80

Figura	Descrição	Fonte	Pág
3.24	(a),(b),(c) e (d) Imagem de materiais e equipamentos utilizados na produção dos painéis de bambu para ensaios de envelhecimento acelerado.		81
3.25	Corte das varas de fechamento com o auxílio de serra elétrica (a); Peças de Bambusa tuldooides já cortadas, preparadas para a montagem do painel (b).		82
3.26	Imagem da abertura do bambu ao meio, para preparação das molduras dos painéis de bambu.		83
3.27	Moldura de bambu com as extremidades chanfradas em 45°.		83
3.28	(a) e (b): As imagens demonstram o momento da união das varas de bambu, com o auxílio de arame galvanizado.		84
3.29	(a),(b),(c) e (d): Processo de montagem do painel de bambu.		85
3.30	(a),(b),(c) e (d): Processo de "pinagem" das molduras do painel de bambu.		86
3.31	Estruturas de bambu finalizadas, antes de serem submetidas ao tratamento imunizante da mineralização.		87
3.32	Painel de bambu sendo lixado, antes da Mineralização.		88
3.33	A imagem mostra o aspecto do bambu após aplicação da lixa grossa para madeira, com ranhuras na superfície lisa do bambu.		88
3.34	Materiais utilizados para a Mineralização dos painéis de bambu: Cimento, água e recipientes plásticos.		88
3.35	Painéis de bambu sendo mergulhados na calda de cimento (a); Colocação de um peso sobre os painéis, para que fiquem totalmente submersos na calda de cimento (b).		89
3.36	Aspecto do painel de bambu após a Mineralização: natas de cimento aderidas à superfície externa do painel.		89
3.37	Materiais utilizados para a produção da argamassa de chapisco: areia, cimento e adesivo de base acrílica.		90
3.38	Lançamento do chapisco às estruturas de bambu.		90
3.39	(a) e (b): Painéis de bambu secos após a aplicação do chapisco.		91
3.40	Materiais componentes da argamassa de revestimento como cal hidratada, cimento e areia artificial média (a); e aspecto da argamassa de revestimento no estado fresco (b).		91
3.41	Aplicação da argamassa de revestimento nos painéis de bambu.		92
3.42	Painéis de bambu recém argamassados, sendo vibrados na mesa vibratória.		92
3.43	Aspecto visual do painel de bambu após aplicação da argamassa de revestimento.		93
3.44	Aspecto visual dos painéis de bambu após a secagem da argamassa.		93
3.45	Detalhe aumentado do aspecto visual da argamassa de revestimento aplicada aos painéis de bambu.		93
Capítulo 4			
4.1	(a) Bambus da espécie Bambusa tuldooides sendo transportados; (b) aspecto visual dos colmos de bambu.		97

Figura	Descrição	Fonte	Pág
4.2	(a) Aspecto visual da parede externa dos colmos de <i>Bambusa tuldooides</i> naturais e (b) vista superior dos diâmetros.		97
4.3	Bambus sendo serrados em serra elétrica para a produção de corpos-de-prova.		99
4.4	Corpos de prova extraídos da parte mediana do colmo, após secagem em estufa, preparados para realização dos ensaios de umidade.		100
4.5	Corpos de prova imersos em recipiente com água, para avaliação da umidade de saturação dos bambus in natura.		103
4.6	(a),(b),(c),(d) Imagens do processo de medida da densidade saturada dos bambus in natura.		109
4.7	Amostras utilizadas para a avaliação da densidade dos bambus in natura, secas em estufa, divididas em grupos sem nós (a) e com nós (b).		112
4.8	Detalhe de um corpo de prova de bambu in natura, utilizado para ensaio de compressão paralela às fibras.		115
4.9	Corpos de prova de bambu preparados para ensaio de compressão paralela às fibras, com nós (a) e sem nós (b).		116
4.10	Corpo de prova de bambu posicionado na prensa para avaliação da resistência à compressão paralela às fibras.		116
4.11	Corpos-de-prova de bambu sem nós, após o ensaio de compressão.		117
4.12	Corpos-de-prova de bambu com nós, após o ensaio de compressão.		117
4.13	(a),(b),(c),(d) Corpos de prova de bambus naturais, utilizados no ensaio de flexão perpendicular às fibras.		121
4.14	Aspecto visual da argamassa de revestimento aplicada ao painel não submetido a processos de envelhecimento.		125
4.15	A seta (a) mostra a marca na argamassa de revestimento deixada pelo arame de travamento do painel; e a seta (b), mostra o afastamento entre a estrutura externa de bambu e a argamassa de revestimento.		126
4.16	Momento da remoção da argamassa de revestimento para retirada dos bambus do interior do painel.		127
4.17	Aparência dos bambus mineralizados, retirados do interior dos painéis não envelhecidos.		127
4.18	Esquema do ensaio de resistência de aderência à tração realizado nos painéis de bambu.	ABNT, 2010	129
4.19	Possíveis formas de ruptura encontradas no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento, de acordo com a NBR 13.528.	ABNT,2010	130
4.20	Equipamento DYNA PROCEQ, utilizado no ensaio de resistência de aderência da argamassa de revestimento.		131
4.21	(a),(b),(c),(d) Etapa preliminar à realização do ensaio de aderência da argamassa: colagem das pastilhas metálicas nos painéis de bambu.		132
4.22	(a) e (b) Visualização das pastilhas metálicas após o ensaio de aderência à tração da argamassa.		133

Figura	Descrição	Fonte	Pág
4.23	Medição da argamassa de revestimento, com régua metálica, sobre a vara de bambu.		133
4.24	Aspecto visual inicial do painel de bambu argamassado, executado no ano de 2005.		135
4.25	Aspecto visual do painel de bambu, após o processo de exposição prolongada aos agentes de degradação natural.		137
4.26	Detalhe de uma região fissurada do painel, com pedaço de argamassa com deficiência de aderência à estrutura de bambu.		137
4.27	As setas apontam o sentido linear das fissuras que ocorreram nos locais onde havia as travessas de bambu, internamente ao painel.		138
4.28	Aspecto visual das molduras dos painéis de bambu, com degradação aparente.		139
4.29	Detalhe das molduras de bambu, com degradação aparente.		139
4.30	Painel com remoção parcial da argamassa de revestimento, podendo se ver o aspecto superficial.		140
4.31	(a),(b),(c),(d),(e) Aspecto visual dos colmos de bambu que permaneceram inseridos em matriz cimentícia e expostas ao intemperismo, durante seis anos.		141
4.32	Corpos de prova feitos a partir dos colmos de bambu envelhecidos naturalmente, sem nós.		142
4.33	Processo de pesagem (a) e secagem (b) dos corpos de prova de bambu, envelhecidos naturalmente.		143
4.34	(a),(b),(c),(d),(e),(f) Realização do ensaio de densidade dos bambus envelhecidos naturalmente.		147
4.35	(a),(b),(c) Imagens relativas ao ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.		150
4.36	(a) e (b) Corpos de prova de bambus envelhecidos naturalmente, preparados para os ensaios de flexão.		153
4.37	Ensaio de flexão dos colmos de bambu envelhecidos naturalmente.		154
4.38	(a),(b),(c),(d) Preparação para o ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento do painel de bambu envelhecido naturalmente.		158
4.39	(a),(b),(c),(d) Ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento em painel de bambu envelhecido naturalmente.		159
4.40	(a) e (b) Imagem de um dos corpos de prova produzidos para o ensaio de envelhecimento acelerado.		163
4.41	Seis corpos de prova de bambu argamassados, preparados para o ensaio de envelhecimento acelerado.		164
4.42	Etapa de molhagem dos corpos de prova, durante 24 horas, antes do início dos ciclos de envelhecimento acelerado.		164
4.43	Painéis descansando na posição vertical para escorrimento do excesso de água.		165
4.44	Secagem dos corpos de prova de bambu em estufa.		165
4.45	Aplicação da lixa de tiras de chapa de aço, nas superfícies argamassadas dos painéis de bambu.		166
4.46	Averiguação do peso dos painéis de bambu após a etapa de secagem em estufa.		167

Figura	Descrição	Fonte	Pág
4.47	Análise visual da argamassa de revestimento no corpo de prova nº 3, após o ensaio de envelhecimento acelerado.		168
4.48	Análise visual da argamassa de revestimento no corpo de prova nº 4, após ensaio de envelhecimento acelerado.		169
4.49	(a),(b),(c) Aparência dos bambus mineralizados, que foram retirados dos painéis de bambu submetidos ao processo de envelhecimento acelerado.		170
4.50	Corpos de prova feitos a partir das colmos de bambu, envelhecidos naturalmente.		171
4.51	Avaliação da massa dos corpos de prova de bambu envelhecidos de forma acelerada.		174
4.52	Corpos de prova de bambu envelhecidos de forma acelerada, sendo medidos com o uso de paquímetro manual.		174
4.53	Corpo de prova extraído de um painel envelhecido de forma acelerada, produzido para o ensaio de compressão paralela às fibras.		177
4.54	Detalhe de um corpo de prova extraídos de um painel envelhecido de forma acelerada, produzido para o ensaio de compressão paralela às fibras.		177
4.55	Corpos de prova envelhecidos de forma acelerada utilizados para o ensaio de compressão paralela às fibras.		178
4.56	Ensaio de compressão paralela às fibras sendo realizado em corpos de prova envelhecido de forma acelerada.		178
4.57	Painel de bambu preparado para o ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa, com as pastilhas já aderidas à argamassa de revestimento.		185
4.58	Ensaio de aderência à tração da argamassa em painel envelhecido de forma acelerada.		186
4.59	Esquema da forma de ruptura na interface entre a argamassa e o substrato (Tipo A). Fonte: Item 4.2 da Norma NBR 13.745 (ABNT, 2010).	Item 4.2 da Norma NBR 13.745 (ABNT, 2010).	186
4.60	Ensaio de aderência à tração da argamassa, mostrando a forma de ruptura das pastilhas, na interface da argamassa com o substrato de bambu.		187
4.61	Quadro síntese das características avaliadas nos bambus.		190
Capítulo 5			
5.1	Comparação dos resultados de umidade natural média dos bambus in natura, sem nó e com nó.		200
5.2	Comparação dos resultados de umidade de saturação média dos Bambus in natura, sem nó e com nó.		201
5.3	Comparação dos resultados de umidade média dos bambus in natura, nas condições natural e saturada.		201
5.4	Distribuição dos feixes vasculares na região nodal	LIESE, 1998	202
5.5	Comparação dos resultados de densidade característica dos bambus in natura, nas condições natural, saturada e seca.		203
5.6	Relação linear entre a densidade seca característica dos bambus in natura, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente, sem nó.		205

Figura	Descrição	Fonte	Pág
5.7	Relação linear entre a densidade seca característica dos bambus in natura, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente, com nó.		206
5.8	Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras dos bambus sem nós, nos estados in natura, envelhecido naturalmente e envelhecido aceleradamente.		207
5.9	Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras dos bambus com nós, nos estados in natura, envelhecido naturalmente e envelhecido aceleradamente.		208
5.10	Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus sem nós, nos estados in natura e envelhecido naturalmente.		211
5.11	Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus com nós, nos estados in natura e envelhecido naturalmente.		211
5.12	Relação linear entre o tempo e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento, em painéis de bambu não envelhecidos, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente.		213
5.13	Interpretação dos valores do coeficiente de correlação (r).	SHIMAKURA, 2002	214
5.14	Correlação linear entre a densidade seca característica e a resistência à compressão em amostras sem nó e com nó.		214
5.15	Correlação linear entre a densidade seca característica e a resistência à flexão em amostras sem e com nó.		215

LISTA DE TABELAS

Tabela	Descrição	Fonte	Pág
Capítulo 4			
4.1	Resultados da umidade natural dos bambus <i>in natura</i> sem nós.		101
4.2	Resultados da umidade natural dos bambus <i>in natura</i> com nós.		102
4.3	Resultados da umidade de saturação dos bambus <i>in natura</i> sem nós.		104
4.4	Resultados da umidade de saturação dos bambus <i>in natura</i> com nós.		105
4.5	Resultados da densidade natural dos bambus <i>in natura</i> , sem nós.		107
4.6	Resultados da densidade natural dos bambus <i>in natura</i> , com nós.		108
4.7	Resultados da densidade dos bambus <i>in natura</i> saturados sem nós.		110
4.8	Resultados da densidade dos bambus <i>in natura</i> saturados com nós.		111
4.9	Resultados da densidade dos bambus <i>in natura</i> secos em estufa, sem nós.		113
4.10	Resultados da densidade dos bambus <i>in natura</i> secos em estufa, com nós.		114
4.11	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus <i>in natura</i> , sem nós.		118
4.12	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus <i>in natura</i> , com nós.		119
4.13	Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu <i>in natura</i> sem nós.		122
4.14	Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu <i>in natura</i> com nós.		123
4.15	Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única.	NBR 13.749 (ABNT, 1995)	128
4.16	Resultados de resistência de aderência à tração da argamassa no painel de bambu não submetido aos processos de envelhecimento (painel nº 0).		134
4.17	Resultados da avaliação de umidade dos bambus envelhecidos naturalmente, sem nós.		144
4.18	Resultados da avaliação de umidade dos bambus envelhecidos naturalmente, com nós.		145
4.19	Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos naturalmente, sem nós.		148
4.20	Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos naturalmente, com nós.		149
4.21	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente sem nó.		151
4.22	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente com nó.		152
4.23	Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus envelhecidos naturalmente, sem nó na parte central (eixo) do corpo de prova.		155
4.24	Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente, com nó no centro (eixo) do corpo de prova.		156

Tabela	Descrição	Fonte	Pág
4.25	Resultados de aderência à tração da argamassa de revestimento do painel de bambu envelhecido naturalmente.		160
4.26	Resultados da umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, sem nó.		172
4.27	Resultados da umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, com nó.		173
4.28	Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos de forma acelerada, sem nós.		175
4.29	Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos de forma acelerada, com nós.		176
4.30	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº1, sem nós.		179
4.31	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº1, com nós.		179
4.32	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº2, sem nós.		180
4.33	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº2, com nós.		1.80
4.34	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº3, sem nós.		181
4.35	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº3, com nós.		181
4.36	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº4, sem nós.		182
4.37	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº4, com nós.		182
4.38	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº5, sem nós.		183
4.39	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada nós – Painel nº5, com nós.		183
4.40	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº6, sem nós.		184
4.41	Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº6, com nós.		184
4.42	Resultados obtidos no ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento dos painéis de bambu envelhecidos de forma acelerada.		188

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição
ρ	Densidade
ρ_{sat}	Densidade saturada
$\rho_{\text{sat k}}$	Densidade saturada característica
$\rho_{\text{sat m}}$	Densidade saturada média
ρ_{s}	Densidade seca
%	Unidade de medidas em porcentagem
θ	Ângulo
μm	Unidade de medidas em micrômetro
\emptyset	Diâmetro
b	Largura da peça principal medida na direção do eixo do parafuso
cm	Unidade de medidas em centímetro
cm^3	Unidade de medidas em centímetro cúbico
De	Diâmetro externo
Di	Diâmetro interno
fc	Resistência de compressão paralela às fibras
fcm	Resistência de compressão média
fck	Resistência de compressão característica
g	Unidade de medidas em gramas
g/cm^3	Unidade de medidas em gramas por centímetro cúbico
Kg	Unidade de medidas em quilogramas
Kg/cm^2	Unidade de medidas em quilogramas por centímetros quadrados
Kg/cm^3	Unidade de medidas em quilogramas por centímetros cúbicos
Kgf	Unidade de medidas em quilogramas força
KJ/m^2	Unidade de medidas em quilojoule por metros quadrados
L	Vão
m	Unidade de medidas em metro
M	Módulo básico
m^2	Unidade de medidas em metros quadrados
m^3	Unidade de medidas em metros cúbicos
Mi	Massa inicial
Msat	Massa saturada
Ms	Massa seca
mm	Unidade de medidas em milímetros
MPa	Unidade de medida em Mega Pascal
N	Unidade de medida em Newtons
Ra	Resistência de aderência à tração
U	Umidade
Um	Umidade in natura média
Uk	Umidade in natura característica
Usat	Umidade de saturação
Usat m	Umidade de saturação média
Usat k	Umidade de saturação característica
V	Volume
Vsat	Volume saturado
Vs	Volume seco

Símbolo	Descrição
X_{wk}	Valor característico

RESUMO

A indústria da construção civil é uma das grandes responsáveis pela degradação do meio ambiente através da extração de recursos naturais, alto consumo de energia, geração de resíduos nas construções e demolições, além da poluição ambiental, sonora e atmosférica. Neste sentido, propõe-se a utilização de uma matéria prima orgânica e renovável na construção civil, na intenção de contribuir com uma mudança de paradigma, que prevê a mitigação do uso dos materiais convencionais na construção civil.

Um dos principais objetivos desta pesquisa foi o de viabilizar o uso do bambu como material de construção, aplicado na forma de painéis de vedação pré-fabricados, mineralizados e revestidos com argamassa nas faces externa e interna. Propôs-se o desenvolvimento de um componente construtivo feito a partir de uma matriz natural, vegetal e tropical, como o bambu, em substituição às matrizes tradicionais, como a cerâmica e a cimentícia, inserindo materiais de baixo impacto ambiental e energético na construção de habitações econômicas e conferindo níveis de sustentabilidade à proposta. Apresentou-se inicialmente o projeto arquitetônico do painel de bambu, bem como o processo tecnológico e construtivo de sua produção, a sua forma de aplicação na obra e a sua inserção em um projeto de habitação econômica. Os painéis de bambu foram submetidos a processos de envelhecimento, natural e acelerado, os quais possibilitaram a avaliação do desempenho, da durabilidade e da vida útil destes painéis, por meio de avaliações visuais, de ensaios físicos de umidade e densidade e de ensaios mecânicos (resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento). Como resultado final da pesquisa, pode-se verificar que é possível desenvolver projetos arquitetônicos com o emprego de painéis de bambu, sendo estes capazes de atender aos requisitos mínimos de desempenho para as habitações econômicas. Verificou-se também que, por meio da metodologia adotada, foi possível simular o envelhecimento natural através do envelhecimento acelerado. Desta forma, avaliando-se os resultados obtidos e a diminuição das propriedades físicas e mecânicas ocorridas, pode-se estimar a vida útil dos painéis de bambu inseridos em matriz cimentícia.

Palavras-Chave: Sustentabilidade; Painéis de bambu; Desempenho e Durabilidade dos bambus; Arquitetura de Bambu.

ABSTRACT

The construction industry is one of the main responsible for the degradation of the environment through the extraction of natural resources, high energy consumption, waste generation in constructions and demolitions, as well as environmental pollution, atmospheric and sound. In this sense, it is proposed the use of an organic and renewable materials in construction, in order to contribute to a paradigm shift, which provides for mitigation of the use of conventional materials in construction.

One of the main objective of this research was to enable the use of bamboo as a building material, applied in the form of pre-fabricated panels, mineralized and applied with mortar in external and internal sides. It was proposed the development of a constructive component made from a natural, vegetable and tropical, like bamboo, replacing the traditional matrices, such as ceramics and cementitious by inserting materials of low environmental impact and energy in the construction of economic housing and giving sustainability the proposed levels. Initially presented the architectural design of the bamboo panel, as well as the technological and constructive process of its production, its form of implementation in the work and its insertion in a economic housing project. Bamboo panels were subjected to aging processes, natural and accelerated, which enabled the evaluation of performance, durability and lifespan of these panels, through Visual assessments, physical testing of moisture and density and mechanical tests (compressive strength, bending and adhesion of the mortar lining). As a final result of the survey, you can check that it is possible to develop architectural designs with the bamboo panels job, these being able to meet the minimum requirements of performance for economic housing. It was also verified that, through the methodology adopted, it was possible to simulate the natural aging through the accelerated aging. In this way, evaluating the results obtained and the reduction of physical and mechanical properties that occurred, can estimate the useful life of bamboo panels inserted into cementitious matrices.

Key-Words: Sustainability; Bamboo Panels; Performance and Durability of bamboo; Bamboo Architecture.

INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, observa-se uma notável busca pelo uso de materiais e tecnologias, na arquitetura e engenharia civil, que não agridam o meio ambiente. Nota-se grande interesse pela utilização de tecnologias e recursos sustentáveis com este propósito, onde materiais como o bambu, a terra crua, as fibras de coco e sisal dentre outros tem sido amplamente estudados, apesar de não serem utilizados de maneira efetiva na construção civil. Busca-se, porém, uma nova postura diante da problemática ambiental inserida no ambiente urbano e construído, levando em consideração a sustentabilidade e as suas dimensões social, cultural e política, bem como a tecnologia e a qualidade das construções.

O processo de industrialização utilizado na produção de materiais de construção como o cimento e o aço, por exemplo, afeta o meio ambiente e a vida das pessoas, tanto na zona rural como nos grandes centros urbanos. Como consequência desse processo, houve o esquecimento de técnicas e materiais antes utilizados nas construções, como o uso da terra crua, do bambu e das fibras naturais, materiais disponíveis nas regiões tropicais, inclusive no Brasil (BARBOSA, 2005). Torna-se fundamental e oportuno o estudo de técnicas construtivas que visem à sustentabilidade ambiental e, tão importante quanto, a formação profissional do arquiteto e do engenheiro com base nestes conceitos.

Pesquisas desenvolvidas por López (1981, 2003); Ghavami (1992); Barbosa e Ghavami (2005), sobre sistemas e materiais alternativos empregados na construção civil em países como o Brasil, apontam o bambu como um ativo ambiental de grande potencial construtivo, dadas as suas características físicas, mecânicas e construtivas. O bambu reúne excepcionais características físicas e mecânicas que permitem grande diversidade de usos na construção de estruturas, pisos, paredes, tetos e esquadrias, podendo contribuir na implantação de milhares de habitações econômicas que se fazem necessárias no Brasil.

De acordo com Salgado *et al* (2002), o bambu é uma espécie vegetal pertencente à família das *Gramineae*, com aproximadamente 45 gêneros e mais de mil espécies catalogadas e espalhadas pelo mundo. Matéria - prima de baixo custo e de fácil apropriação, o bambu pode ser encontrado com facilidade em todo o território brasileiro. Dentre os vários países latino-americanos onde o bambu se desenvolve, o Brasil reúne o maior número de espécies desta planta, algumas nativas e outras exóticas (GRACA, 1988).

São inúmeras as possibilidades de utilização do bambu na arquitetura, podendo ser utilizado para a produção de vigas, pilares, treliças e lajes, para a produção de painéis, esquadrias, forros, pisos, dentre outros, o que comprova a sua grande potencialidade construtiva. Observa-se que nos últimos anos, várias pesquisas foram realizadas sobre o uso do bambu na construção civil, comprovando a sua eficácia e estimulando o aumento da produtividade desta planta para este fim.

Em países como a China, Nepal, Filipinas e Havaí, o bambu tem sido frequentemente objeto de pesquisa científica. De acordo com Cheng *et al* (2006), estudos variados sobre técnicas de preservação, secagem, curvatura, propriedades de colagem, acabamento e produção de chapas laminadas e painéis vem sendo conduzidos, apresentando bons resultados.

Porém, as possibilidades de uso do bambu podem ser ampliadas com a melhoria de sua resistência, através de métodos mais aperfeiçoados de colheita, secagem e imunização contra o ataque de fungos e carunchos e, ainda, com o desenvolvimento de estudos, projetos e protótipos que possibilitem o uso sistematizado e industrializado desta matéria-prima na indústria da construção civil.

Para que seja possível maximizar a utilização do bambu, é necessário que suas propriedades físicas e mecânicas sejam compreendidas (LEE *et al*, 1994). As pesquisas científicas realizadas com o bambu, principalmente relacionadas ao uso do bambu na arquitetura como elemento construtivo, sua imunização e durabilidade, são ainda incipientes no meio acadêmico. Observa-se ainda certo preconceito em relação ao uso do bambu na indústria da construção civil brasileira, ao contrário do que ocorre em países da América do Sul como a Colômbia e Equador e no continente Asiático.

Não se deve pensar no bambu como uma solução exclusiva para os problemas relacionados ao meio ambiente ou para a diminuição acentuada dos recursos florestais, porém, ele pode ser considerado como um importante material de construção, de baixo custo, a ser amplamente explorado no Brasil.

O tema escolhido para esta pesquisa parte da necessidade de se inserir, na indústria da construção civil, o emprego de um material sustentável como o bambu, a fim de que esta matéria prima natural possa substituir ou complementar os materiais construtivos convencionais de alto impacto ambiental, conferindo segurança e qualidade para as construções.

Justifica-se, a partir do exposto, que estudos científicos referentes à produção pré-fabricada de componentes construtivos feitos de bambu, bem como sobre as suas propriedades físicas, mecânicas e construtivas, são fundamentais para a comprovação do seu potencial tecnológico e construtivo dentro do panorama atual das construções no Brasil. Deve-se ponderar o momento atual oportuno em que a Indústria da Construção Civil abre espaço para novos materiais, em busca de construções mais sustentáveis, e o bambu, por sua vez, tem emergido como um excelente material capaz de contribuir com a diminuição do uso da madeira, que está cada vez mais escassa em várias regiões do Brasil.

A) OBJETIVOS

Quanto aos objetivos da presente Tese, estes foram divididos em objetivos gerais e objetivos específicos, os quais são descritos a seguir.

Objetivos gerais

- a) Contribuir, por meio da pesquisa, com a disseminação do conhecimento sobre os materiais de construção sustentáveis, no caso específico os bambus, considerando sua importância do ponto de vista ambiental, construtivo e social.
- b) Colaborar com o meio técnico e científico com o desenvolvimento de um componente construtivo pré-fabricado de bambu, propondo a sua utilização nas habitações econômicas.

Objetivos Específicos

- c) Propor projeto arquitetônico de painéis de vedação para habitações econômicas, feitos com matriz vegetal em sua composição, em substituição às matrizes cimentícias ou cerâmicas.
- d) Propor um sistema construtivo pré-fabricado para a produção de painéis de bambu argamassados;
- e) Verificar as facilidades e dificuldades construtivas da produção do painel de bambu proposto, através do exercício prático da execução de protótipos;
- f) Avaliar a durabilidade dos painéis de bambu relacionando o seu tempo de uso à

preservação de suas propriedades físicas e mecânicas, por meio de ensaios laboratoriais e processos de envelhecimento natural e acelerado.

g) Sistematizar o conhecimento produzido acerca da utilização dos bambus, contribuindo com a escassa produção bibliográfica nacional acerca do tema.

h) Desenvolver análises e considerações sobre o uso de materiais de baixo impacto ambiental como o bambu, visando à inserção destas questões no ensino da Arquitetura, dentro das Universidades.

i) Contribuir com a sustentabilidade social do bambu através da pesquisa, incentivando a geração de novos empregos, tanto na zona rural (nas plantações de bambu) quanto na zona urbana (na produção tecnológica de produtos feitos de bambu).

B) O CONTEXTO E SUA PROBLEMÁTICA

Ao contrário do que se pode imaginar, o emprego de materiais sustentáveis no ambiente construído e na realidade brasileira não é tão simples como parece. Muitos são os entraves e empecilhos que dificultam a utilização e aceitação destes materiais no segmento da construção civil, sendo este um dos pontos de maior relevância na problemática do tema.

De acordo com Barbosa (2005), muitas construções importantes foram feitas com o uso de materiais como a terra crua no Brasil, sobretudo nas cidades coloniais, sendo que ainda representam um notável patrimônio cultural e arquitetônico. Porém, a maciça propaganda e a difusão dos materiais industrializados, trouxeram como consequência o desprezo, o esquecimento e o abandono de técnicas e materiais tradicionais pelas camadas mais abastadas da população. Elas ficaram relegadas aos estratos mais carentes, que têm dificuldades na transferência e perpetuação das antigas tecnologias, ocorrendo o que se chama de *perda de tecnologia*.

Almeida (2011) faz algumas considerações sobre a pouca utilização das matérias primas naturais, neste caso, dos bambus, em nosso país. Para o autor, os problemas mais evidentes, seguindo a ordem de importância, são os seguintes:

- a) Desconhecimento crônico desses profissionais quanto às potencialidades que essa matéria-prima oferece à construção civil, principalmente sobre os aspectos físicos, mecânicos, construtivos e de durabilidade dos bambus;
- b) Falta de preparação e treinamento desses profissionais, por meio de cursos e atividades educativas, para lidarem com essa matéria-prima e seus produtos;
- c) A não inclusão, nos livros e manuais técnicos, de procedimentos e informações voltadas para o detalhamento executivo de projetos de arquitetura e engenharia civil empregando os bambus. Há pouca bibliografia técnica e científica e, quando existem, são edições estrangeiras ou desatualizadas.
- d) A inexistência de uma normalização técnica brasileira para a sua comercialização, pesquisa e aplicação em edificações enquanto material de construção.

Almeida (2011) comenta que, a sub-utilização do bambu é ainda mais gritante se levarmos em conta a sua potencialidade, a diversificação das espécies existentes no Brasil, as condições ambientais que este país oferece ao seu cultivo e, sobretudo, a capacidade tecnológica dos nossos profissionais e das nossas instituições que atuam na área da construção civil. Torna-se evidente que esses projetistas desconhecem a parte biológica dessa planta, bem como o desempenho dos seus produtos em termos físicos, mecânicos, construtivos e de durabilidade. Vale ressaltar, que em países como a Colômbia, China e Índia, esta realidade é bem diferente da observada no panorama nacional brasileiro, sendo o uso do bambu na arquitetura uma prática comum e muito bem aceita culturalmente por estas populações.

Observa-se que são inúmeras as dúvidas em relação à aplicação desta matéria-prima na arquitetura e na engenharia. É sabido que no Brasil poucas pesquisas científicas são desenvolvidas sobre os aspectos construtivos e tecnológicos dos bambus, bem como aspectos ligados ao seu desempenho e durabilidade. Os aspectos citados foram abordados de maneira expressiva nesta pesquisa, por meio de avaliações visuais, ensaios laboratoriais e análises dos resultados obtidos.

C) ENFOQUE TEÓRICO

De acordo com Alves (2012), a construção civil é a grande vilã do desperdício e da depredação ambiental, além de ser uma das responsáveis por grandes diminuições na quantidade de recursos não renováveis. Correia (2011) complementa, afirmando que esta atividade não é responsável apenas pela geração de milhões de toneladas de resíduos minerais, mas também pela emissão de aproximadamente 30% de dióxido de carbono na atmosfera. Estas ações têm gerado graves conseqüências no contexto das alterações climáticas e ambientais em todo o planeta.

Os materiais industrializados exigem enormes quantidades de energia no seu processo de fabricação e manuseio. Por sua vez, os métodos construtivos tradicionais, que utilizam na maioria das vezes os materiais industrializados, produzem enorme quantidade de entulhos (restos de construção), difíceis de serem incorporados na natureza.

No entanto, tendo-se a sustentabilidade como uma questão chave em todos os níveis de produção nas últimas décadas, especialmente nos países ocidentais, a carga ambiental dos materiais também se tornou mais um critério importante (VAN DER LUGT *et al*, 2006). Os materiais de construção deixaram, a partir de então, de serem selecionados com base apenas em requisitos funcionais, técnicos e financeiros. Os aspectos ambientais e de sustentabilidade passaram a influenciar na opção do sistema construtivo e dos materiais empregados na construção civil.

De acordo com Torgal e Jalali (2011), a União Européia estabeleceu que, em médio prazo, o consumo de matérias primas deve ser reduzido em 30% e que a produção de resíduos neste setor deve ser cortada em 40%. Segundo os autores, estas medidas visam alcançar uma indústria de construção mais sustentável.

Além da redução do consumo de matérias primas e da produção de resíduos, a utilização de recursos naturais renováveis pelo setor da construção civil pode contribuir de maneira significativa para a criação de um novo padrão de consumo de materiais de construção, mais sustentável e menos poluente. Neste sentido, torna-se importante o desenvolvimento de materiais com base em recursos renováveis, como os bambus e as fibras vegetais.

Os bambus, matéria prima vegetal e natural, possuem rápido crescimento, baixo peso e baixo custo, apresentando-se como um valioso material de construção. Graças à sua

versatilidade e às excelentes propriedades construtivas, físicas e mecânicas que possui, o bambu se destaca como um importante material de construção para o segmento da construção civil.

Um dos principais objetivos deste estudo foi a proposição de um painel de vedação vertical para as habitações econômicas, pré-fabricado e argamassado, que utilizou como material básico de fechamento, uma matriz vegetal e natural. Os colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldooides* foram empregados como fechamento dos painéis de bambu, cumprindo importante função no componente construtivo proposto.

A premissa fundamental do trabalho realizado, a ser apresentado nos capítulos a seguir, baseou-se na mitigação do uso das matérias primas naturais, “virgens”, de origem mineral ou vegetal. Buscou-se a substituição das matrizes cerâmicas e cimentícias, geralmente utilizadas como base dos sistemas de vedação vertical, por uma matriz vegetal feita de bambu, na intenção de promover o uso de materiais de baixo impacto ambiental, de forma sistematizada, nas habitações econômicas.

As matérias primas industrializadas geralmente são processadas antes de serem utilizadas, consumindo grande quantidade de energia. Ao contrário destas, os bambus podem ser utilizados no seu estado natural (*in natura*) e consomem pouca energia no seu processo de beneficiamento. Ressalta-se, assim, o importante papel e posicionamento do arquiteto frente à problemática ambiental. Cabe a este profissional a responsabilidade de eleger os materiais de baixo impacto ambiental e energético na sua produção arquitetônica, contribuindo desta forma com o desenvolvimento sustentável.

D) ESTRUTURA DA TESE

A estrutura teórica desta pesquisa, apresentada na **Parte I** e denominada Revisão da Literatura, foi construída a partir do estudo de vários autores e de documentos referentes à temática geral da sustentabilidade. Procurou-se, inicialmente, conhecer as bases teóricas e metodológicas da Arquitetura Sustentável. A maioria das obras estudadas foi de suma importância para a compreensão e abrangência em todos os níveis do paradigma do desenvolvimento sustentável. Discutiu-se a estreita ligação entre a arquitetura, a sustentabilidade e a durabilidade das construções, bem como o importante papel do arquiteto frente à problemática ambiental enfrentada por todo o planeta.

A presente Tese, em sua fase inicial, foi discutida com a Prof^a Dr^a Anne Grete Hestnes, Professora da NTNU (NORWEGIAN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY), na *Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology*, que atuou como co-orientadora da Tese durante o Programa Sandwich (PHD Student Program - 2009 / 2010), na cidade de Trondheim, Noruega. Na ocasião, a Prof^a Dr^a Anne Grete aportou significativas colaborações no contexto da sustentabilidade da pesquisa.

Destaca-se outro ponto da Revisão da Literatura, que discute sobre os materiais de baixo impacto ambiental, bem como a escolha estratégica destes materiais pode contribuir com o desenvolvimento sustentável. Nesta linha, fala-se sobre a importância do uso dos Bambus como material de construção, sendo apresentados alguns aspectos botânicos e ambientais, além das suas principais características físicas, mecânicas e construtivas.

Foram também discutidas questões relativas aos painéis de vedação vertical, como suas principais funções, materiais convencionais utilizados para a sua produção e sua aplicação nas habitações econômicas. Os painéis de bambu também foram citados, por meio de uma breve apresentação, sendo classificados como artesanais e pré-fabricados. Com base nas referências bibliográficas consultadas sobre os assuntos descritos nos parágrafos anteriores, foi possível construir a Revisão da Literatura, apresentada no Capítulo 1 desta Tese.

Os Capítulos 2, 3 e 4, a serem apresentados resumidamente nesta Introdução, compõem a **Parte II** da Tese, denominada Materiais, Métodos e Resultados.

O Capítulo 2 consiste, basicamente, no processo projetual dos painéis de bambu e da habitação econômica proposta. São apresentados, de maneira detalhada, os requisitos e critérios de proposição arquitetônica do painel, o desenho técnico, a especificação dos materiais utilizados e a sua aplicação em um projeto arquitetônico habitacional de pequeno porte. Parte-se, posteriormente, para uma avaliação sobre o projeto arquitetônico e o sistema construtivo propostos, levando em consideração aspectos como a qualidade da proposta, a adequação do sistema com outros materiais e a facilidade construtiva do painel.

No Capítulo 3 é descrito todo o processo de produção dos painéis de bambu. São apresentados, além do desenho técnico, os materiais, ferramentas e equipamentos utilizados; o processo de produção e montagem; o procedimento imunizante da Mineralização dos colmos de bambu; e o procedimento de aplicação do chapisco e

argamasa de revestimento nos painéis de bambu. Ressalta-se que, somente após a produção dos painéis de bambu, descritos neste capítulo, foi possível realizar as avaliações de durabilidade e desempenho dos painéis, importante alvo de investigação desta Tese.

Muitas avaliações e ensaios de cunho investigativo sobre a durabilidade dos bambus foram desenvolvidos, sendo estas a base fundamental do Capítulo 4. No decorrer da pesquisa, vários painéis de bambu foram produzidos. Estes, por sua vez, foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto acelerado. O processo de envelhecimento natural se deu por meio da exposição dos painéis de bambu às intempéries, por um período de seis anos, caracterizando um ensaio de longa duração. Já o processo de envelhecimento acelerado se deu através de seis ciclos de molhagem e secagem dos painéis, caracterizando um ensaio de curta duração. Após a realização deste procedimento, foi possível avaliar o desempenho, a durabilidade e previsão da vida útil dos painéis de bambu, por meio de avaliações visuais, de ensaios físicos (umidade e densidade) e mecânicos (resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento), realizados nos painéis de bambu produzidos e em amostras de bambu retiradas do interior dos painéis.

A avaliação da resistência de aderência à tração da argamassa também foi cuidadosamente avaliada, nos painéis não submetidos aos ensaios de envelhecimento, nos painéis envelhecidos de forma acelerada e nos painéis envelhecidos naturalmente. Através da sobreposição dos resultados, pode-se avaliar a eficácia da aderência da argamassa aos painéis de bambu, sendo este um dos principais requisitos de desempenho e qualidade que os painéis de bambu devem apresentar e um dos grandes defeitos superficiais apresentados pelos painéis de bambu colombianos, por exemplo. Todas as análises dos resultados obtidos no Capítulo 4 são apresentadas e discutidas no Capítulo 5 (Parte III) da Tese.

Na **Parte III** - “Análises dos Resultados” (Capítulo 5), são apresentadas, de maneira descritiva, as análises dos resultados obtidos nas avaliações e ensaios realizados. Neste capítulo são feitas considerações importantes sobre os aspectos construtivos do painel de bambu e da habitação econômica proposta; sobre a influência do nó nas avaliações de umidade e densidade dos bambus *in natura*; sobre o desempenho e a vida útil dos bambus inseridos em painéis argamassados, após envelhecimento natural e acelerado; sobre a aderência à tração da argamassa de revestimento; e por fim, sobre a relação entre a densidade e as propriedades mecânicas dos bambus.

1. SUSTENTABILIDADE, ARQUITETURA E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

1.1 SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA

Conceituações e comentários

Há um consenso comum de que o meio ambiente propicia as bases para o desenvolvimento das civilizações. Mesmo assim, crises entre a sociedade e o meio ambiente vêm acompanhando a história das civilizações e, desde a antiguidade, se tem registros de focos de agressão ao ecossistema. É certo que a natureza é tratada de maneira diversa, dependendo de como as sociedades a compreendem e do contexto de cada cultura. Povos como os *Yanomamis*, por exemplo, em suas intervenções na natureza, não provocam nenhum desequilíbrio comprometedor do ecossistema, embora o modifique.

De acordo com Romeiro (2003), a estrutura cultural de uma sociedade representa, de fato, a dimensão da agressão ao meio ambiente imposta pelas suas formas de exploração da natureza, direcionada à satisfação de suas necessidades, sejam básicas ou não. Diante do exposto, ressalta-se que o equilíbrio do ecossistema não deve ser visto de forma estática, pois o ecossistema é um sistema dinâmico e se modifica com as interações entre as diversas espécies nele contidas.

A Humanidade estaria, então, diante de uma realidade por ela própria construída, caracterizada por uma série de problemas ambientais graves, que comprometem o equilíbrio geral de todos os ecossistemas do globo. É possível elaborar uma lista extensa de problemas ambientais que confirmam a fragilidade do planeta frente à ação do homem, como a extinção de espécies animais e vegetais, o esgotamento de recursos naturais, a degradação das águas, a contaminação e erosão dos solos, o lixo, a desertificação, a mudança climática global, a destruição da camada de ozônio, o desperdício de recursos não renováveis, a poluição atmosférica, a chuva ácida, dentre outros, como ilustra a Figura 1.1.



Figura 1.1: Imagens demonstram os sérios problemas ambientais que comprometem o equilíbrio geral de todos os ecossistemas do globo.

a	
b	c
d	

a: Desertificação dos solos no nordeste brasileiro (BRASILESCOLA, 2012).

b: Alto índice de poluição atmosférica na China (GRUPOESCOLAR, 2012).

c: Poluição das águas dos rios na China (VEJABEMVB, 2011).

d: Alagamentos provocados pelas chuvas em São Paulo (BETAOLEMELA, 2010).

De acordo com Carvalho (2005), o crescimento populacional do planeta, as inovações tecnológicas, o progresso científico bem como os sistemas políticos, sociais e econômicos, baseados na intensificação da exploração da natureza, nas bases econômicas do capitalismo, tornaram mais evidentes a interferência da humanidade sobre meio ambiente, ampliando os problemas ambientais e contribuindo para a promulgação de um ambiente que poderá vir a ser insustentável para perpetuar a vida humana e de outros seres vivos. Complementando, McCormick (1992) afirma que o aumento da mobilidade pessoal, a intensificação da indústria, a disseminação dos assentamentos humanos e mudanças mais amplas nas relações sociais e econômicas também influenciaram no aumento dos problemas ambientais.

Evidencia-se, dessa forma, que o ser humano tem grande poder de transformação da realidade, na medida em que interfere no equilíbrio natural e - da mesma forma que o meio ambiente cria condições para o desenvolvimento das civilizações - podem também levá-las ao declínio. Segundo o pensamento de Carvalho (2005), foi com base neste espectro de deterioração das bases do desenvolvimento social e econômico, que as sociedades evoluíram na conscientização sobre as questões ambientais.

Giuliani (1999) relata que “a questão ecológica mostra a incapacidade de um sistema social de produção e consumo de manter suas formas e ritmos de crescimento sem acabar destruindo as próprias condições de sua reprodução”. Para o autor, “a organização social e econômica” é responsável pela devastação social, ou seja, o empobrecimento do homem; a “organização técnico-produtiva”, a indústria, é responsável pela devastação da natureza e; “a ideologia capitalista” é responsável pelo aniquilamento de qualquer forma de pensamento crítico e criativo. Barbosa (2005) complementa, dizendo que o tipo de relação da economia de mercado com vista na competitividade e no lucro, traz problemas conseqüentes de pobreza e outras formas de desigualdades sociais.

O conceito de sustentabilidade tem sido construído ao longo de importantes congressos mundiais com base na temática ambiental, abrangendo vários segmentos da atividade humana. Gibberd (2003) apresenta uma diferenciação entre os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, considerando o primeiro como “viver dentro da capacidade de suporte do planeta”, e o segundo, como “aquele desenvolvimento que conduz à sustentabilidade”. Já Gonçalves e Duarte (2006) afirmam que o paradigma da sustentabilidade baseia-se na busca pelo bem-estar social e pela melhoria da qualidade de vida de todos os povos. O termo é calcado na concepção de equilíbrio, onde a produção e o

consumo devem ser conduzidos de forma a incentivar o uso consciente, dando continuidade à disponibilidade dos recursos ambientais. O autor refere-se ainda ao ato de repensar as necessidades, a importância e as prioridades, visando, a partir de análise das possíveis conseqüências sociais e ambientais, a eleição de métodos, produtos e posturas que causem o mínimo de desequilíbrio ao meio ambiente.

O paradigma citado está intrinsecamente ligado ao conceito de “dignidade de pessoa humana”, pois a discussão sobre o meio ambiente constrói um conhecimento para a mudança social, afirma Cavalcante (2011). Trata-se de uma nova ética que não só defende o meio ambiente, mas também o homem e a qualidade de vida dele. A Figura 1.2 apresenta a situação de miséria e a falta de infra-estrutura básica em que vive grande parte da população dos países em desenvolvimento.



Figura 1.2: Assentamento informal em forma de "palafitas", na Bahia de Todos os Santos, Salvador - Bahia, Brasil. Fonte: UN-HABITAT, 2012.

A grande dificuldade está em como pôr em prática as mudanças culturais, econômicas e sociais necessárias de forma equitativa e, ainda, como impedir o uso indevido do termo, tendo em vista a dificuldade semântica e o conseqüente descrédito do paradigma.

Sachs (2002) concebe a sustentabilidade a partir de diversos critérios: social, cultural, ecológico, ambiental, territorial, econômico, e político (nacional e internacional). O autor

aponta que os critérios que vêm merecendo maior atenção por parte da sociedade, se referem às atividades direcionadas para a ecoeficiência e para a produtividade dos recursos, como reciclagem, aproveitamento de resíduos, conservação de energia, água, e manutenção de equipamentos, infraestruturas e edifícios, visando a extensão de seu ciclo de vida. É importante notar que essas atividades estão diretamente ligadas à indústria da construção, formando, assim, os principais paradigmas da construção sustentável.

Felizmente, hoje, a sustentabilidade não é preocupação exclusiva de organismos que tratam as questões ambientais. Ela passou a fazer parte, cada vez mais, da vida cotidiana das pessoas e caminha para se tornar uma força determinante em todos os segmentos, dentre eles, o da construção civil. A sociedade atual, em todas as partes do planeta, vive uma crise ambiental de escala sem precedentes, que obriga o ser humano a obriga a repensar o conjunto das suas atividades, incluindo a produção do abrigo, bem como levar a reflexões sobre como as suas decisões podem influenciar na qualidade ambiental da Terra. Como resultado destas atitudes, espera-se que os profissionais adotem uma postura mais responsável no que diz respeito à preservação dos recursos naturais, e revejam seus conceitos e critérios em relação às práticas de projeto e de construção.

O papel da arquitetura frente à problemática ambiental

A problemática ambiental pede uma renovação, tanto no campo teórico da arquitetura quanto na prática das construções. Os fatores ambientais surgem como condicionantes decisivos e que nem sempre coincidem com os aspectos formais, funcionais e construtivos do projeto. Portanto, é importante que a questão ambiental seja definitivamente encarada como um fator condicionante da arquitetura, e que o conteúdo programático da arquitetura sustentável seja estruturado nas bases da ecologia, do conforto, da construção social e da tecnologia.

Muito tem se falado sobre arquitetura sustentável, porém, o caráter interdisciplinar da sustentabilidade, com aplicação em várias áreas do conhecimento, torna o tema complexo e com muitas variáveis. O termo arquitetura sustentável vem sendo utilizado atualmente com diversas definições. Pode-se dizer que a arquitetura sustentável é uma tipologia arquitetônica que se preocupa com o bem estar dos usuários, o bom funcionamento das edificações e também com o impacto que tais construções causam ao meio ambiente, identificando os materiais e sistemas construtivos ideais para uma determinada construção, baseando-se no desenvolvimento de um modelo que permite à construção civil enfrentar e

propor soluções aos principais problemas ambientais atuais, sem renunciar à tecnologia e à criação de edificações que atendam às necessidades de seus usuários (IDHEA, 2006).

Para Edwards (2003), o arquiteto encontra dificuldades ao conceituar a arquitetura sustentável, devido a grande parte do desenho sustentável estar ligada a questões de conforto ambiental, eficiência energética e durabilidade, e considerando ainda, que o desenhar de forma sustentável também significa criar espaços que sejam saudáveis, viáveis economicamente e sensíveis às necessidades sociais.

Na opinião de Goulart (2012), a arquitetura sustentável é moldada pela discussão de sustentabilidade e pela pressão de questões econômicas e políticas de nosso mundo. Em um amplo contexto, a arquitetura sustentável procura minimizar o impacto ambiental negativo dos edifícios que aumentam o uso de materiais, de energia, e do espaço construído.

O que se percebe é que o tema sustentabilidade vem influenciando abordagens de projeto na arquitetura contemporânea e conta com iniciativas e exemplos nas mais diversas condições urbanas e ambientais. Extrapolando as questões de conforto ambiental e suas relações com a eficiência energética, os recursos para a construção e a operação do edifício, como materiais, energia e água, também fazem parte das variáveis que vêm sendo exploradas, com especial atenção na formulação de propostas de menor impacto ambiental.

No entanto, em geral, há várias razões apontadas para a não assimilação dos princípios sustentáveis por parte dos profissionais da construção civil. Como justificativa para tal ação pode-se levantar, primeiramente, ainda na formação do profissional, uma falta de orientação e conscientização por parte das universidades em gerar o pensar sustentável no futuro profissional. Outro ponto a ser considerado é a descrença do profissional em realmente considerar as questões que envolvem o meio ambiente em seus projetos, devido, principalmente, à inacessibilidade aos materiais sustentáveis e dificuldade em dominar a suas técnicas de uso e manutenção.

Keeler e Burke (2010) afirmam que é necessário que o profissional tenha uma visão específica e interdisciplinar sobre as questões ambientais, para somente então integrar seus conhecimentos à produção de projetos sustentáveis. Independentemente da profissão, seja nas áreas de arquitetura e engenharia, de planejamento do uso do solo, de gestão de recursos hídricos e resíduos de construção ou na área governamental, é essencial a

compreensão dos princípios da sustentabilidade para a produção de um projeto integrado. Para os autores, o projeto integrado é um tema abrangente, que orienta a tomada de decisões referentes ao consumo de energia, aos recursos naturais e à qualidade ambiental, sendo necessário encarar as variáveis do projeto como um todo unificado, utilizando-as como ferramentas para a solução dos problemas.

Muitos são os projetos de arquitetura desenvolvidos em sintonia com a natureza e com o desenvolvimento sustentável e que apresentam interessantes soluções sob os aspectos da funcionalidade, da estética, do conforto ambiental e da escolha dos materiais de construção. Como um bom exemplo, pode-se citar uma escola, a METI (*Modern Education and Training Institute*), construída em Rudrapur Dinajpur, Bangladesh. Projetada pelos arquitetos alemães Anna Herringer e Eike Roswag e construída em 2005, a escola conhecida como *Handmade School* (escola feita à mão) foi erguida com a ajuda da população local, incluindo os próprios professores e alunos da escola, juntamente com a equipe europeia de arquitetos e estudantes de arquitetura. As crianças participaram ativamente do processo criativo e construtivo do projeto, desenvolvendo seus potenciais de criação e de responsabilidade pela escola. Os arquitetos fizeram uso de materiais e técnicas construtivas locais, aproveitando o potencial construtivo da região e conferindo identidade ao projeto. Os principais materiais utilizados foram a terra crua e o bambu. As Figuras 1.3, 1.4 e 1.5 apresentam imagens da referida “escola feita à mão”, em Bangladesh.



Figura 1.3: *Handmade School*, construída em Bangladesh (2005), exemplo de arquitetura integrada ao meio ambiente e à cultura local. Fonte: HENRIKSON E GREENBERG, 2011.



Figuras 1.4 e 1.5: Detalhes construtivos da *Handmade School*, evidenciando o uso de materiais de baixo impacto ambiental como o bambu e a terra crua.
Fonte: HENRIKSON E GREENBERG, 2011.

1.2 A DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES

Nas últimas décadas, tem-se verificado um rápido aumento do patrimônio construído, que por sua vez, tem demonstrado que muitas vezes não são levadas em consideração as questões de sustentabilidade e durabilidade. Estas medidas que visam o aumento destes requisitos, deveriam ser inseridas desde a fase de projeto até a gestão da manutenção em fase de serviço. Tal postura tem levado ao envelhecimento prematuro das edificações, ao qual se tem conhecimento nos dias atuais.

Como dito anteriormente, a proliferação desenfreada de construções de forma não sustentada e sem qualidade, a médio e longo prazo, levam a uma grande evolução da deterioração das construções. Outra causa deste desgaste precoce é a introdução de novos produtos e/ou sistemas na atividade da construção, associados às novas tecnologias, sem o devido conhecimento da sua correta aplicação e do seu futuro desempenho. De acordo com Santos (2010), estas e outras razões têm obrigado a uma reflexão criteriosa sobre a temática da durabilidade e da previsão do tempo de vida útil dos produtos usados na construção, com o intuito de avaliar qual o seu desempenho ao longo do tempo de serviço.

A durabilidade e a previsão de vida útil das edificações têm dimensões ambientais muito importantes. Em alguns idiomas, construção sustentável é traduzida como construção durável. De acordo com John *et al* (2001), a durabilidade é uma questão muito mais baseada em conhecimento do que em recurso, pois é possível aumentar a vida útil sem aumentar o impacto ambiental durante a fase de produção.

A durabilidade deve ser considerada logo a partir da fase de projeto, uma vez que nesta etapa são escolhidos os produtos a serem aplicados na construção, sendo de extrema importância a seleção adequada da solução construtiva e o conhecimento do desempenho dos seus componentes, para um projeto de durabilidade.

De acordo com Gomes e Ferreira (2009) “uma construção é durável se for capaz de desempenhar as funções para as quais foi concebida, durante o período de vida previsto, sem que para tal, seja necessário despendar custos de manutenção e reparação imprevistos. A durabilidade, sendo caracterizada pela vida útil de um conjunto de materiais e componentes, desempenha uma função importante para a obtenção de uma construção sustentável”.

Segundo Lacasse e Sjöström (2005), “o desenvolvimento de normas que tratem da vida útil dos produtos, da padronização do projeto, do planejamento da vida útil dos edifícios e de suas instalações, são elementos-chave para alcançar uma construção sustentável”.

De acordo com Freitas *et al* (2008) “o objetivo de qualquer previsão de vida útil de um material, sistema ou componente integrado num edifício é o de avaliar a sua capacidade de executar satisfatoriamente as suas operações em toda a vida útil do edifício ou ao longo do período considerado razoável para a sua substituição ou reparação”.

Para a norma ISO 15686-1 (2000), “a vida útil é definida como o período de tempo, após instalação, durante o qual o edifício ou suas partes atingem ou excedem os requisitos de desempenho, sendo os requisitos de desempenho o nível mínimo aceitável de uma propriedade crítica”.

Ripper (2003) comenta que a “vida útil de uma construção é o período durante o qual esta conserva os requisitos estabelecidos em projeto quanto à segurança, funcionalidade e estética, sem custos inesperados de manutenção (reparação).”

Em nenhuma das conceituações citadas é especificada a definição de período de tempo, podendo este não ser necessariamente um longo período. A vida útil, assim como a durabilidade, é muito dependente dos agentes externos que atuam num material, bem como sobre as características inerentes ao material ou a capacidade de resistir a esses agentes.

É muito difícil estimar o momento em que um determinado elemento da construção se torna obsoleto, uma vez que este depende de vários fatores que variam ao longo do tempo, tais como a cultura, a mentalidade da sociedade, a moda, as tendências, entre outros, e que são muito difíceis de quantificar.

Um elemento de construção atinge o fim da sua vida útil quando deixa de desempenhar adequadamente as funções que lhe foram previamente exigidas, devido a alterações no desempenho requerido em relação à utilização destinada. Uma vez que o desempenho requerido é de difícil quantificação, a definição do fim de vida útil é complexa.

“Considera-se que se atingiu o limite de durabilidade do componente quando determinado fenômeno de degradação (ou a ação conjugada de vários fenômenos) que age sobre determinado elemento, conduz à ultrapassagem de determinado estado limite previamente definido. Esta tarefa não é fácil (os próprios critérios do que é aceitável mudam ao longo do tempo) e a forma de definir os “estados limites” pode variar caso se considerem exigências de segurança, de funcionalidade ou de aparência” (GASPAR E BRITO, 2005).

A vida útil de uma edificação corresponde ao período em que a respectiva estrutura não apresenta degradação dos materiais, em resultado das condições ambientes, que conduzam à redução da segurança estrutural inicial.

Em suma, a sustentabilidade de uma construção também está diretamente ligada à sua durabilidade e à sua capacidade de sobreviver adequadamente ao longo do tempo, referindo-se à maneira como ela responde às condições de poluição do ar, solo e água e aos impactos no meio ambiente em geral (BLUMENSCHHEIN, 2004). A durabilidade das edificações é o principal quesito para uma edificação sustentável, e está diretamente ligada à qualidade do processo construtivo e dos materiais empregados.

1.3 MATERIAIS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

Os primeiros materiais de construção utilizados foram aqueles ofertados pela natureza, como a pedra, a palha, galhos e troncos de árvores e, sem dúvida, a terra. Durante milênios a humanidade utilizou desses materiais até o aparecimento dos materiais industrializados, mais conhecidos como materiais de construção convencionais.

No Brasil, aproximadamente metade da extração de matérias-primas não renováveis acaba na construção. As obras são intensivas em uso de materiais e a geração de resíduos na construção está bem maior do que resíduos urbanos. A quantidade de demolições e de construções também vem aumentando, sendo que a construção é o setor industrial que mais gera resíduo no país (JOHN, 1999).

Para que sejam conhecidos os impactos provocados ao meio ambiente pela utilização de um material não natural, Mulfarth (2002) afirma que o seu ciclo de vida deve ser conhecido em todas as fases. Desde os impactos provocados pela extração da matéria-prima, passando pelo transporte, aplicação final, desempenho, até as fases finais como a longevidade do material, a capacidade de reutilização, reciclagem e decomposição.

A industrialização e o transporte, de acordo com Carvalho (2005), representam os processos mais prejudiciais ao meio ambiente, por consumirem demasiada demanda de energia e por serem, por si só, fonte de poluição ambiental, sonora e atmosférica. Idealmente, segundo o autor, recomenda-se a utilização de materiais naturais, não-processados e/ou provenientes de locais próximos da construção. Quanto maior a possibilidade de reutilização do material, menor é o componente proporcional de energia embutida.

Dentre outros fatores associados aos materiais industrializados estão os preços abusivos, que não condizem com o valor real do custo do produto, e sim, giram em prol do lucro, o que dificulta o acesso destes produtos às populações de baixa renda. Além dos impactos ao meio ambiente, a industrialização e o desenvolvimento tecnológico também podem gerar situações de desemprego, com a substituição de postos de trabalho por máquinas e equipamentos resultantes destas novas tecnologias, causando outros problemas de ordem social.

Este conjunto de considerações apresentadas até aqui reforçam a importância da busca e do resgate das tecnologias tradicionais aliadas às experiências científicas, principalmente no meio acadêmico, na formação de novos profissionais comprometidos com o desenvolvimento sustentável, que possam contribuir para a minimização do problema da moradia, sobretudo as de interesse social. Para Oliveira (2006), é preciso adotar os princípios da sustentabilidade, seja no pensar ou no agir, globalmente e localmente, integrando-se os saberes tradicionais e acadêmicos, ou científicos. O resultado disso pode ser acompanhado em trabalhos e publicações relacionadas ao tema.

Sobre as fibras vegetais, Soto (2011) aborda sua utilização na obtenção de novos materiais para a construção civil, o que se torna vantajoso devido ao baixo custo, a alta disponibilidade e a redução no consumo de energia em sua produção. Nos últimos anos, o uso de fibras naturais tem repercutido nos projetos e pesquisas do setor de arquitetura e o Brasil é um dos países que possuem grandes vantagens nessa produção, pois dispõe de extensão territorial, clima favorável e alta produtividade de biomassa. O bambu também surge como uma importante alternativa construtiva, por ser um material facilmente renovável pela natureza, de crescimento rápido e de baixo custo; possui um reduzido consumo energético em sua produção, além de ser versátil e plasticamente interessante.

Dentre as técnicas construtivas que utilizam a terra como matéria prima, o adobe é uma das mais conhecidas, usado milenarmente em diversas partes do mundo, sendo, portanto, um material tradicional. A técnica de construir com terra foi largamente utilizada ao longo da história e atualmente, inclusive no Brasil. A Figura 1.6 (a e b) ilustra alguns tijolos de adobe sendo empregados na produção de alvenaria e a Figura 1.7 apresenta uma residência construída com este material.



Figura 1.6 (a e b): Tijolos de adobe sendo aplicados em alvenaria. Fonte: ECOCENTRO, 2012.

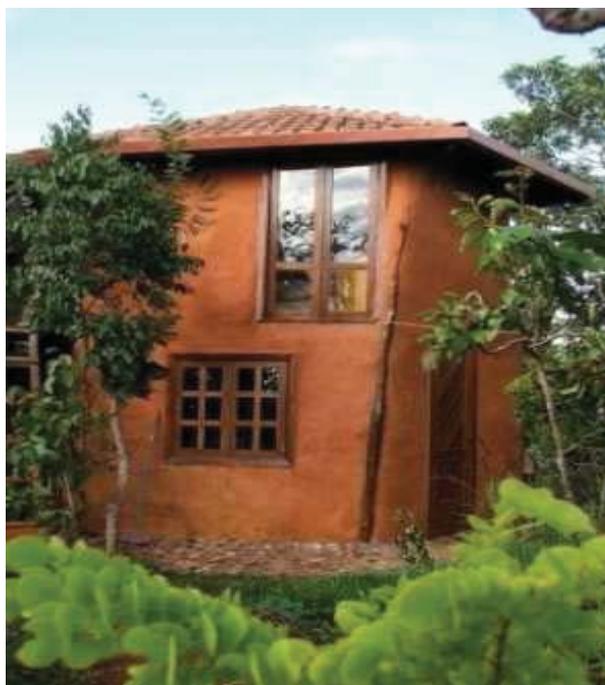


Figura 1.7: Casa de adobe produzida na Argentina.
Fonte: ECOCENTRO, 2012.

Para John *et al* (2000), a reciclagem de resíduo de construção e demolição (RCD) oferece condições para atingir o desenvolvimento sustentável. Os resultados da aplicação deste material na construção foram tão positivos, que atualmente é praticada amplamente na Europa, especialmente na Holanda. No Brasil, muitas pesquisas e aplicações estão sendo desenvolvidas com este material.

1.4 O BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

A importância ambiental

Historicamente o bambu tem acompanhado o homem desde a pré-história e seu uso está presente na cultura de praticamente todos os povos primitivos, de todos os continentes. Atualmente, estima-se que esta planta contribua para a subsistência de mais de um bilhão de pessoas (Beraldo e Pereira, 2008).

Com o crescente desmatamento e o aumento da pressão exercida sobre as florestas tropicais, bem como sobre as áreas de reflorestamento, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais renováveis e por soluções alternativas capazes de atenuar, em parte, esse processo predatório. Lee *et al* (1994) comentam que, com o decréscimo da quantidade e qualidade dos recursos florestais, tem aumentado o interesse pela busca de materiais renováveis e de baixo custo, como é o caso dos bambus.

O bambu é uma planta tropical, perene e renovável, que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio. Seus colmos se renovam em menor intervalo de tempo, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área, apresentando-se como uma planta de grande potencial agrícola (JARAMILLO, 1992). Além de ser eficiente seqüestrador de carbono, os bambus podem ser utilizados em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e como um protetor e regenerador ambiental.

Os bambus são reconhecidos por ser uma importante alternativa energética, devido ao volume excepcional de biomassa produzida, tanto quanto a madeira. Pode ser aproveitado tanto na queima direta como na produção de carvão, inclusive carvão ativado.

Esta planta apresenta excelentes características físicas, químicas, mecânicas e construtivas, o que a torna um material de construção de grande qualidade e versatilidade. Na Ásia e em alguns países como a Colômbia, Costa Rica e Equador, o bambu é muito utilizado na construção de edificações, que podem vão desde uma simples cabana até um edifício de três andares ou uma Catedral. Devido à sua grande flexibilidade, o bambu é muito utilizado em regiões sujeitas a abalos sísmicos, principalmente na América Latina.

Distribuição geográfica

O bambu é encontrado naturalmente em todos os continentes do mundo, com exceção da Europa. Porém, desde o século XIX, seu cultivo vem sendo introduzido na parte oeste da Europa, em países como a Espanha, Itália e Portugal, através da China e do Japão (OPRINS PLANT, 1997). Estas gramíneas crescem em temperaturas entre 8º e 36º, embora se desenvolvam melhor em regiões subtropicais. Na América são encontradas 40% das espécies de bambu lenhosos do mundo, aproximadamente 32 espécies e 22 gêneros. O Brasil é o país com maior diversidade e reúne 81% dos gêneros, de acordo com Lodoño (1991).

O Brasil, embora tenha grandes reservas naturais de bambu e boas condições de plantio, ainda não possui uma utilização expressiva de seus colmos. Segundo um levantamento feito pelo INPA (Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia), só no estado do Acre, foi registrado o índice de 38% das florestas sendo composta por bambuzais naturais. A Figura 1.8 apresenta uma imagem de satélite da região do sudoeste da Amazônia Brasileira, com área estimada de 160.000 km² de floresta aberta de bambu.

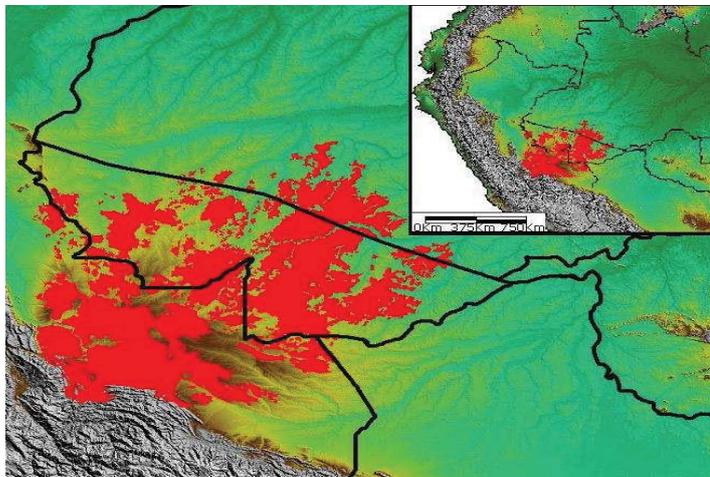


Figura 1.8: Distribuição da floresta aberta de bambu no sudoeste da Amazônia (Acre), com aproximadamente 160.000 Km². Fonte: SILVEIRA, 2010.

A Figura 1.9 apresenta uma floresta de bambus no Acre, que se caracteriza como um dos grandes tipos de floresta da Amazônia brasileira. As espécies de bambu encontradas em abundância nesta região, de acordo com Silveira (2001), são a *Guadua capitata*, *Guadua paniculata*, *Guadua sarcocarpa*, *Guadua superba* e a *Guadua weberbaueri*, sendo esta última, a espécie predominante.



Figura 1.9: Floresta natural de bambu no sudeste da Amazônia (Acre, Brasil).
Fonte: SILVEIRA, 2010.

O Brasil possui uma grande variedade de espécies de bambus, podendo ser encontrada por todo o território nacional, principalmente nas regiões norte e nordeste, e principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Teixeira, 2006).

Propriedades físicas, mecânicas e construtivas

O bambu apresenta excelentes características físicas e, segundo Ghavami e Marinho (2001), os colmos do bambu possuem características de leveza, força, dureza, conteúdo de fibras, flexibilidade e facilidade de trabalho, que são ideais para diferentes propósitos tecnológicos. A cor, a altura total, a distância entre os nós, o diâmetro do mesmo e a espessura da parede, tudo isso depende da espécie e do período e idade do corte do bambu. De acordo com Pereira (2001), o bambu alcança sua resistência máxima a partir dos três anos, quando atinge a maturidade, e os colmos maduros são mais resistentes que os verdes.

De acordo com Liese (1998), o colmo do bambu é caracterizado por apresentar nós e entrenós. Os nós provêm de uma intercomunicação transversal com suas paredes sólidas, chamadas de diafragma. Os entrenós possuem células fortemente orientadas axialmente, não havendo elementos celulares radiais. Segundo Alves *et al* (2010), a estrutura do colmo além de ser constituída de células alinhadas no sentido axial, são envolvidas por fibras de alta resistência à tração. A Figura 1.10 ilustra, em desenho esquemático, as partes que constituem o colmo de um bambu.

Sua forma circular e sua seção oca fazem do bambu um material leve, fácil de ser transportado e armazenado, capaz de permitir a construção rápida, de estruturas temporais ou permanentes, podendo até ser empregado em grandes obras do ponto de vista arquitetônico, como comenta Teixeira (2006).

Porém, segundo Ahmad (2000), as propriedades físicas e mecânicas do bambu dependem da espécie, terra, clima, manejo, técnicas de corte, idade, umidade, posição dos colmos, nós e entrenós e biodegradação.

O conhecimento prévio das diferentes propriedades mecânicas do bambu pode servir de subsídio para os projetistas, no que tange a atribuição de funções específicas para cada espécie, no contexto da construção civil. Por exemplo, espécies com elevada resistência a compressão poderiam ser utilizadas como apoios, enquanto as que se comportam bem a tração, como tirantes.

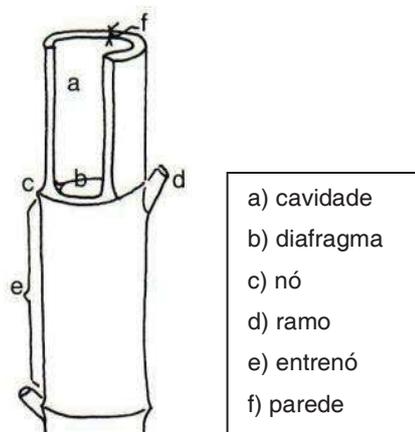


Figura 1.10: Partes que constituem um colmo de bambu.
Fonte: BERALDO E PEREIRA, 2008.

Alves (2012) diz que a resistência à tração do bambu apresenta-se como cerca de 1/5 da resistência do aço CA-50. Com estas características, o bambu pode ser utilizado até como reforço ao concreto, em substituição ao aço, tradicionalmente empregado como armaduras de peças desta natureza.

O bambu é um material higroscópico, que perde e ganha umidade de acordo com a umidade relativa do ambiente, até atingir sua umidade de equilíbrio higroscópico que está na faixa de 13 a 20 %, respectivamente, para os gêneros *Phyllostachys* e *Dendrocalamus*

(LOPEZ, 2003). Para Beraldo *et al* (2003), após o corte do colmo, torna-se necessário um período de um a quatro meses de secagem ao ar, para que o colmo atinja uma umidade de 10 a 15%. O estudo das propriedades físicas do bambu é de grande importância na construção civil, já que a densidade influencia a resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade.

A densidade básica do colmo é uma das principais características físicas do colmo de bambu, variando entre 0,500 a 0,800 g/ac³ para diferentes espécies de bambu. Porém, essa propriedade pode sofrer acentuadas variações entre colmos de uma mesma espécie.

A massa específica do bambu aumenta da camada interna para a externa, e ao longo do colmo, conforme constatado por diversos autores (LIESE, 1998; LOPEZ, 2003; KABIR *et al* 1996).

Nascimento *et al* (2002) estudaram a espécie *Bambusa tuldoides*, e concluíram que ocorre aumento da densidade da base para o ápice do colmo, diminuição do teor de umidade da base para o ápice e maiores contrações na área basal, em função de sua menor massa específica.

Nascimento *et al* (2002) encontraram valores de compressão equivalente à 75,4 MPa para a espécie *Bambusa tuldoides*, enquanto que Brotero (1956) encontrou valores de 77,1 MPa. Em relação à densidade, encontraram valores de 0,65 à 0,82 g/cm³, com média de 0,71 g/cm³, valores estes, que os autores afirmam ser comparáveis aos valores encontrados em madeiras.

O bambu é um material que tem baixa massa específica e uma alta resistência mecânica. Essa relação diferencia o bambu dos outros materiais estruturais. O bambu deixa a estrutura mais leve, levando o peso próprio a tornar-se uma parcela considerável no carregamento com materiais mais densos como o concreto (MURAD, 2011).

Kabir *et al* (1996), trabalhando com a espécie *Dendrocalamus hamiltonii*, verificaram que os nós apresentam maior massa específica e contração volumétrica menor, em relação aos entrenós, devido ao menor comprimento de fibra e distorção dos feixes fibro-vasculares. Possuindo fibras pequenas e de parede espessa na região nodal, os colmos de bambu sempre se quebram nos nós, quando são submetidos a esforços de tração (LIESE, 1985).

O bambu também é capaz de substituir, com vantagens, elementos estruturais de madeira quando seus dimensionamentos estão condicionados à capacidade do material de resistir a esforços cisalhantes. Ghavami e Marinho (2001) realizaram estudos em relação à resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras em corpos de prova de bambu, obtendo valores em torno de 8MPa e 32MPa, respectivamente.

Sobre algumas características construtivas que os bambus oferecem, ressalta-se a versatilidade e o baixo peso específico de seus colmos. Como material de construção, o bambu permite grande diversidade de usos na construção de pilares, vigas, treliças, painéis de vedação, estrutura de telhados, pisos, esquadrias, dentre outros.

A constituição do seu colmo também permite que ele seja de fácil corte e fracionamento, no entanto, para se atar uma peça à outra, o melhor é que se utilize de parafusos, pois os pregos podem ocasionar rachaduras e danos no bambu (GRAÇA, 1988). Após a utilização de parafusos, pode-se fazer amarrações com fibras naturais sobre os parafusos, para conferir melhor acabamento às juntas.

Para Teixeira (2006), do ponto de vista construtivo, constata-se que esta planta é um material viável e adequado do ponto de vista ecológico e construtivo, haja vista suas características físicas, mecânicas e construtivas, podendo substituir, com vantagens e segurança, os materiais convencionais ou industrializados. O bambu é um material com grande potencial para a industrialização. Verifica-se que os principais componentes construtivos feitos de bambu podem ser pré-fabricados e industrializados, como é o caso dos painéis de vedação vertical, dos pisos laminados, das treliças e outro.

Técnicas de preservação do bambu

O bambu apresenta baixa durabilidade natural por causa da presença do amido, que atrai fungos. Para prolongar a vida útil do bambu, Beraldo *et al* (2003) comentam que existem algumas técnicas tradicionais como a observação da idade do corte, a cura na mata, o tratamento por imersão, o tratamento pela fumaça e pelo fogo e o tratamento sob pressão.

A preservação dos colmos de bambu por meio do uso de pressão (Figura 1.11) torna o processo mais eficiente. O método mais recomendado para colmos recém-cortados é o *Boucherie* modificado. Bambus secos podem ser tratados em autoclaves (utilizadas para preservação da madeira). Nesse caso, os diafragmas devem ser perfurados para que o

colmo não rache durante a fase de vácuo. É necessário também fazer um tratamento preventivo para que, durante a secagem, os colmos não sejam atacados pelo caruncho.



Figura 1.11: Tratamento dos colmos de bambu sob pressão.
Fonte: MINKE, 2010.

Alves (2012) complementa, apresentando o tratamento imunizante da mineralização dos bambus, que é um tratamento químico não tóxicos aplicados aos bambus. Trata-se de um método com pouca bibliografia e divulgação científica no que diz respeito a sua aplicação e eficiência em bambus. De acordo com Alves (1976), “a mineralização consiste na preparação de uma solução de silicato de sódio, que ao ser aplicada em fibras vegetais, ajudam a eliminar o efeito da absorção de água destes materiais”.

Este procedimento apresenta-se como uma opção simples e econômica, feito através da imersão dos colmos dos bambus em uma calda de cimento. Desta forma, o bambu terá uma grande habilidade para absorver as partículas de silicatos de cimento dissolvidas na água, devido a sua alta porosidade. Após a mineralização, podem ser observados, microscopicamente, grãos de hidratos de cimento no interior das células dos colmos.

Este procedimento mostrou ser bastante apropriado para melhorar a aderência da superfície externa dos bambus à argamassa de revestimento (aplicada nos painéis de bambu argamassados). Porém, como tratamento imunizante dos colmos, mostrou eficiência parcial, não resolvendo efetivamente o problema do ataque dos fungos aos bambus.

Para Liese (1987), a durabilidade dos colmos depende das condições climáticas e do ambiente onde ele é utilizado. Bambus não tratados, expostos ao tempo e em contato com o solo, podem durar em média de 1 a 3 anos. Das peças protegidas das intempéries, pode-se

esperar que durem entre 4 a 7 anos, mas estando em condições favoráveis, os bambus podem permanecer em bom estado de conservação por média de 10 a 15 anos.

Produção arquitetônica

Para Morado (1994), parece redundante discutir a importância da arquitetura tradicional ou vernácula, cujas respostas estéticas e tecnológicas atendem a requisitos sociais, econômicos e políticos específicos. Como o ambiente construído é continuamente afetado por tais fatores, é aceitável considerá-la como fonte de inspiração para a produção da arquitetura contemporânea. O uso do bambu na arquitetura se origina na África e na Ásia, onde o material substitui quase totalmente a madeira, por ser de fácil manipulação.

No passado, as “cabanas” eram construídas com estruturas de bambu formadas por canas fincadas ao chão e conectadas a terças. As paredes eram feitas de painéis de bambu fixados a postes verticais. Painéis ou colmos finos de bambu ou de ripas entrelaçadas são até hoje uma das melhores e mais baratas alternativas de construção. O barro misturado às fibras de bambu prevenia as rupturas causadas pela contração. A planta destas casas era geralmente retangular, com área total de 10m² a 20 metros quadrados. Morado (1994) finaliza, dizendo que apesar de simples, as cabanas funcionavam muito bem na proteção contra o sol, vento e chuva (Figura 1.12).

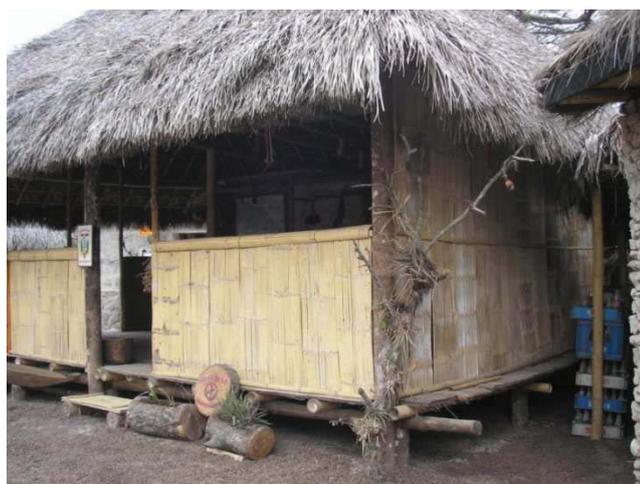


Figura 1.12: Modelo de cabana tradicional construída em Quito, Equador, em 2008.
Fonte: TEIXEIRA, 2008.

Os povos asiáticos mantêm uma tradição milenar na utilização do bambu, sendo possível observar o surgimento e a perpetuação de várias construções, de pequeno a grande porte, onde o material utilizado é o bambu. Grande parte dos monumentos e edifícios, que hoje

são símbolos da arquitetura hindu, como o Taj Mahal (Figura 1.13), tem o bambu em suas estruturas. Devido à sua flexibilidade e resistência, o bambu foi utilizado na construção de arcos e abóbodas deste conhecido templo religioso da Índia.

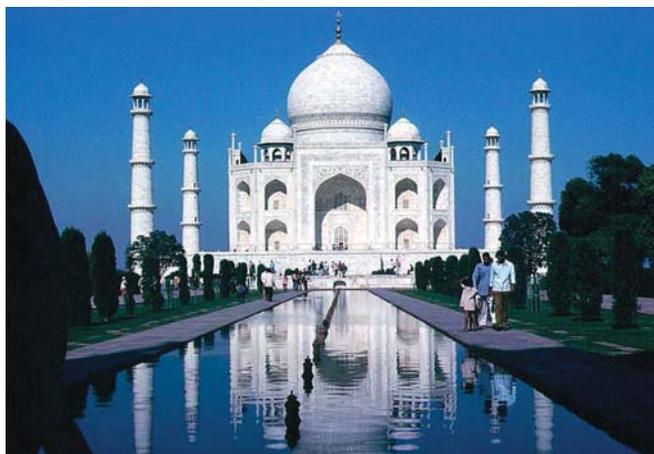


Figura 1.13: As cúpulas do monumento Taj Mahal, na Índia, foram feitas de bambu.
Fonte: EFECAD, 2013.

Na Colômbia, o bambu é o material de origem vegetal empregado com maior assiduidade, ultrapassando o uso da madeira. Pode-se observar através das Figuras 1.14 a 1.17, importantes obras arquitetônicas de bambu construídas na Colômbia e no México, ambas projetadas pelo arquiteto Simón Velez. A Colômbia é um dos países que detém a melhor tecnologia construtiva com o uso do bambu no mundo, sendo o país de origem de grandes nomes da arquitetura de bambu como Oscar Hidalgo López, Simón Vélez, Marcelo Villegas e outros.



Figura 1.14: *Iglesia sin religión*, construída em Cartagena de Índias, Colômbia.
Projeto do Arquiteto Simón Vélez. Fonte: ARCHLEAGUE, 2011.



Figura 1.15: Vista interna da *Iglesia sin religión*: construção sustentável com apurado teor artístico. Fonte: ARCHLEAGUE, 2011.



Figura 1.16: Vista externa do *Nomadic Museum*, espaço para exposições fotográficas, instalado na principal praça da *Ciudad de México*, no ano de 2008. Fonte: MINKE, 2010.

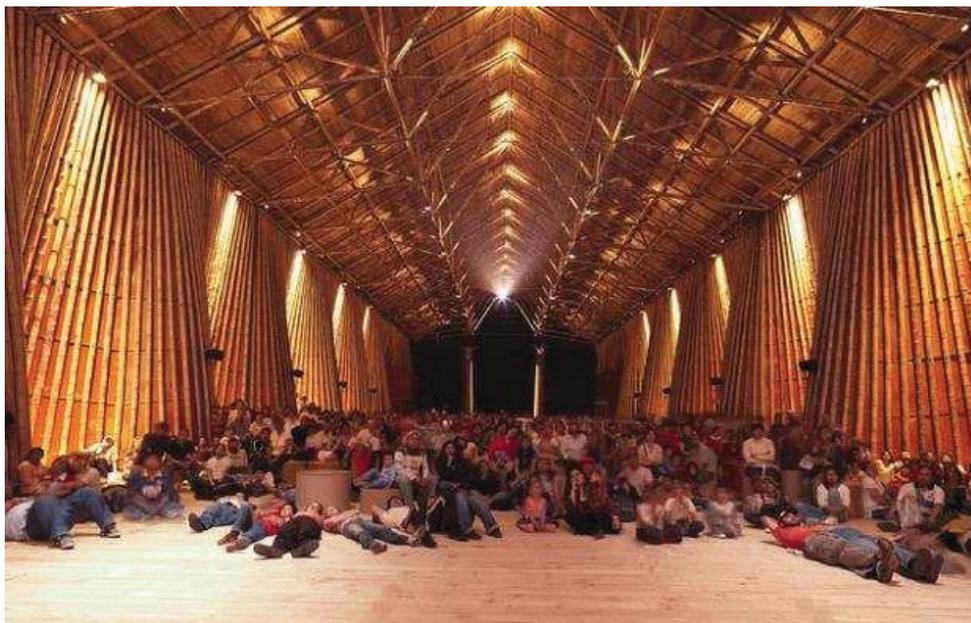


Figura 1.17: Vista interna do *Nomadic Museum*, *Ciudad de Mexico*.
Fonte: MINKE, 2010.

A industrialização dos bambus

Há duas principais formas de usar o bambu: *in natura* e laminado. De acordo com Pereira e Beraldo (2008), como no Brasil não se tem a cultura de utilizá-lo na forma em que se apresentam na natureza, pesquisas estão sendo desenvolvidas para a utilização dos bambus na forma laminada e colada (BLC). Os autores comentam que os testes realizados indicam sinais positivos, sendo que o produto advindo deste beneficiamento é versátil, podendo ser aplicado como piso, forro, vigas e painéis, dentre outros usos.

Em países como a Colômbia e o Equador, que utilizam o bambu em grande escala na construção, nota-se uma forte tendência da industrialização desta matéria-prima. Assim como a madeira necessita passar por processos de industrialização e laminação de suas peças, o bambu também pode ter suas ripas laminadas, ou seja, suas lâminas sobrepostas em comprimentos variados e unidas face a face por meio de encaixes ou adesivos.

Após a laminação de seu colmo o bambu é prensado, podendo dar forma a pilares, vigas e vigotas em seções retangulares ou quadradas, tornando-se mais comercial, sem perder, no entanto, as suas características físicas, mecânicas e construtivas. Alguns produtos industriais derivados do bambu como o OSB, o *Plyboo* e o MDF, possibilitam a substituição das madeiras, tornando-se possível desta forma evitar ou diminuir o desmatamento das florestas tropicais (ALMEIDA e TEIXEIRA, 2006).

Vários são os produtos feitos à base de bambu laminados colados, tais como pisos, chapas, painéis, cabos para ferramentas manuais ou agrícolas, compensados, móveis e componentes da construção civil. Nas Figuras 1.18 e 1.19 pode-se observar a estrutura de uma habitação econômica (protótipo), composta por pilares feitos com bambu laminado e colado, em projeto desenvolvido pelo CPAB/UnB – Centro de Pesquisa e Aplicação de Bambu e Fibras Naturais (2012).



Figuras 1.18 e 1.19 Pilares feitos com bambu laminado, colados e aplicados em protótipo de habitação econômica, projeto desenvolvido pelo CPAB/UnB.
Fonte: TEIXEIRA, 2010.

Para Beraldo e Pereira (2008), porém, poucos estudos sobre o bambu laminado foram desenvolvidos no Brasil. Os autores comentam ainda que uma das maiores dificuldades encontradas referem-se à ausência de equipamentos que permitam a usinagem adequada do bambu para a produção de ripas regulares.

Diversos usos dos bambus

Sabe-se que o bambu pode ser utilizado de diversas formas, destacando-se o seu uso na indústria medicinal, química e farmacêutica, como cosméticos, enzimas, hormônios e cultivo de bactérias; como carvão, óleos combustíveis e biomassa; como tecidos, cordas, papel e para o artesanato; para a construção rural, civil e como material de construção pra engenharia. As Figuras 1.20 e 1.21 apresentam usos inusitados do bambu, como na produção de uma bicicleta, de uma guitarra e uma jangada.



Figura 1.20 (a e b): Bicicleta e guitarra feitas de bambu.
Fonte: TEIXEIRA, 2012.



Figura 1.21: Jangada feita de bambu utilizada como meio de transporte.
Fonte: TEIXEIRA, 2012.

Hsiung (1988) comentou que a China apresenta maior tradição na utilização do bambu, sendo estimado em cerca de 4 (quatro) mil diferentes usos tradicionais, principalmente nas áreas de construção, agricultura, artesanato, cultura e arte. Dependendo da finalidade de uso que se deseja fazer com os bambus, deve-se eleger a espécie mais adequada, devendo ser levado em conta o diâmetro do colmo, a espessura da parede, a idade de colheita entre outros cuidados. De acordo com Salgado e Godoy Jr. (2002), algumas espécies indicadas para a construção civil são a *Guadua sp*, *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Bambusa tuldoides*, *Bambusa tulda* e *Phyllostachys sp*.

Deve-se considerar, porém, que as inúmeras possibilidades de uso dos bambus podem ser ampliadas com a melhoria de sua resistência, através de métodos mais aperfeiçoados de colheita, secagem e imunização contra fungos e carunchos e contra a seca excessiva.

Aspectos como o clima, o solo, a forma de cultivo e de tratamento, interferem diretamente da qualidade dos bambus.

Perspectivas da cultura construtiva com os bambus

É comprovada cientificamente a eficácia do bambu, porém faz-se necessário que as espécies sejam plantadas em abundância, que sejam feitos tratamentos adequados para prolongar a vida útil da planta, que se forme mão-de-obra especializada e, principalmente, que sejam implantadas políticas públicas e industriais de incentivo ao uso do bambu na construção civil, para que ele possa ser utilizado em grande escala e por qualquer segmento da população.

O primeiro passo, para o êxito do uso do bambu no Brasil, é incentivar, por meio de políticas públicas, representantes municipais e estaduais, fazendeiros e proprietários de terra, a plantar o bambu, constituindo-se assim a matéria prima para o desenvolvimento de projetos de qualquer natureza com o uso desta planta. Outras ações como o desenvolvimento de pesquisas sobre o bambu, o incremento da tecnologia utilizada e a formação de profissionais qualificados, são importantes para aumentar o emprego do bambu na construção civil.

O preconceito vigente no Brasil em relação ao bambu faz com que esta planta se torne esquecida e relegada em segundo plano. Desse modo, a eliminação de bambuzais é freqüente em todo território nacional. Nos dias de hoje essas áreas são destruídas para em seu lugar produzir grãos ou criar bovinos. Isso, no entanto, prejudica o solo, e o bambu, ao contrário, ajuda a conservar os recursos naturais, produzindo oxigênio, reciclando a água de rios e lagos e limpando o solo de alguns elementos nocivos. O bambu é também um importante agente no controle da erosão, já que suas raízes formam uma rede subterrânea, impedindo erosões e dando firmeza a terra.

Novas perspectivas apresentam alterações significativas. Como o interesse pelo uso do bambu no Brasil é crescente, algumas instituições como as universidades públicas, fundações, associações e inúmeras outras, se destinam a pesquisá-lo e a capacitar pessoas, no intuito de divulgar suas potencialidades tecnológicas, bem como para evitar que ele seja aplicado de forma equivocada (PEIXOTO, 2008). Em âmbito nacional, a Rede Brasileira do Bambu – RBB, uma organização social de natureza pública, criada em 2006 e consolidada no ano 2010, apresenta-se como uma rede de pesquisa, com diversos agentes envolvidos na cadeia produtiva do bambu. Deste modo, as pesquisas, projetos, ações

cooperativas e consorciadas e demais atividades que envolvem o uso deste material desenvolvidas no país, poderão ser facilmente acessadas e divulgadas no meio técnico e científico.

1.5 PAINÉIS DE VEDAÇÃO: MATRIZ INDUSTRIALIZADA E MATRIZ VEGETAL

A vedação vertical externa tem a função de separar o ambiente externo do interno e, aliada a esta, tem também função estética. Geralmente, as vedações verticais mais empregadas na produção das construções no cenário nacional são as alvenarias cerâmicas ou cimentícias.

Pode-se conceituar alvenaria como um componente da edificação, conformado na obra, constituído por pedras naturais, tijolos ou blocos de concreto, unidos entre si por juntas de argamassa, formando um conjunto rígido e homogêneo. Segundo Nascimento (2003), quando empregada na construção para resistir cargas, é chamada de *alvenaria estrutural*, pois além do seu peso próprio, ela suporta cargas como o peso das lajes, telhados ou pavimentos superiores. Quando a alvenaria não é dimensional para resistir cargas verticais além do seu peso próprio é denominada *alvenaria de vedação*. As alvenarias de tijolos e blocos cerâmicos ou de concreto são as mais utilizadas em construções e exige investimento cada vez mais crescente no desenvolvimento de tecnologias para industrialização do seu sistema construtivo.

Os painéis verticais de vedação são elementos construtivos utilizados para substituir a alvenaria convencional, buscando racionalização e agilidade no processo construtivo, com a finalidade de vedar ou delimitar os ambientes das edificações. Podem ser autoportantes ou não, isolantes térmicos e acústicos, além de atuarem como suporte e proteção para diversas instalações prediais.

Quanto aos painéis, os mais utilizados na vedação das edificações são os painéis de concreto, de blocos cerâmicos, de gesso acartonado, de argamasa armada e de bambu. Podem ser utilizados de acordo com as necessidades de cada projeto e compatibilidade com a estrutura da edificação.

Painéis de vedação com matriz industrializada

Um dos sistemas construtivos mais adotados na vedação vertical das habitações econômicas é o de painéis pré-fabricados de concreto celular, geralmente com cobertura de fibrocimento. Este tipo de material é produzido a partir da mistura de cimento, cal e areia - componentes comuns da argamassa - com pó de alumínio. O resultado é um material de construção leve, que pode ser usado em vedações verticais, como alternativas de economia e redução de entulho (Figura 1.22). Porém, deve-se considerar que, na fabricação dos materiais de construção convencionais (como o cimento *portland* e a cal), são produzidos inúmeros resíduos poluentes que são depois descartados no meio ambiente, consome-se muita energia para a sua produção e, segundo Barbosa (2005), tem os mais elevados índices de emissão de CO₂ na atmosfera.



Figura 1.22: Painéis de concreto celular aplicados na produção de habitações econômicas.
Fonte: VEDAÇÃO. BLOGSPOT, 2013.

Quanto à vedação vertical feita a partir de painéis ou alvenaria de blocos cerâmicos, sabe-se que, culturalmente, é a opção tecnológica com maior aceitação entre a população brasileira. O tradicional levantamento da alvenaria, de acordo com Sabbatini (1998), tem sido praticamente a única forma de racionalização das vedações utilizadas de modo fundamentado no Brasil. Contudo, construções que primam pela rapidez e economia de desperdícios, precisam investir na racionalização da produção de vedações verticais, elegendo sistemas construtivos pré-fabricados.

Os blocos cerâmicos têm em sua base compositiva a argila e possuem geralmente a forma de paralelepípedo. Possuem coloração avermelhada, com furos ao longo de seu comprimento, destinados à execução de paredes que suportarão o peso próprio e pequenas

cargas destinadas de algumas ocupações como armários, pias e outros. Os blocos cerâmicos estruturais ou portantes, além de ter a função de vedação, são elementos destinados à execução de paredes que constituirão a base estrutural resistente da edificação, podendo substituir pilares e vigas de concreto. Estes painéis podem ainda ser utilizados como paredes internas e externas e produzidos com blocos cerâmicos estruturados, com nervuras de concreto armado e revestidos com argamassa, como mostra a Figura 1.23.



Figura 1.23: Painéis de blocos cerâmicos empregados na produção de habitações econômicas. Fonte: TÉCHNE, 2013.

De acordo com Barbosa (2005), as indústrias de fabricação de tijolos e telhas exigem energia para calcinar as argilas. No entanto, a energia mais barata é a que utiliza a vegetação local e, tendo em vista o volume de lenha consumido nas olarias, vê-se que estas estão contribuindo de forma efetiva para o fenômeno da desertificação do solo nordestino e do desmatamento. O maior dano observado é a extração dos recursos naturais que altera a paisagem, haja vista que o ecossistema geológico é incapaz de recuperar o volume de material extraído, em tempo de evitar o fim destes recursos (ANIK *et al*, 1996).

Diante do exposto, muitos materiais de baixo impacto ambiental vêm sendo pesquisados na produção de painéis de vedação, como o adobe, o superadobe, o tijolo de solo-cimento, os fardos de palha, o *biokreto*, os resíduos de construção e demolição (RCD), os telhados verdes, os painéis feitos com garrafas *PET*, os materiais com aproveitamento de resíduos

naturais (como a cinza da casca de arroz), os bambus, dentre outros. A seguir, serão abordados alguns aspectos construtivos e tecnológicos dos painéis de bambu, alvo principal dos estudos desta pesquisa.

Painéis de vedação com matriz natural

Os painéis de vedação são considerados como um dos principais componentes construtivos das edificações. Podem ser executados de diversas maneiras, com o emprego de tecnologias que variam de região para região, levando-se em consideração o clima, a necessidade de vedação total ou parcial da edificação ou dos ambientes, a cultura construtiva da região dentre outros fatores que condicionam a escolha do tipo do painel.

Os painéis de vedação de matriz vegetal ou natural são aqueles que, na sua composição, utilizam-se de matérias primas naturais. Podem ser utilizadas matrizes vegetais, como é o caso dos bambus e das fibras vegetais, e também matrizes minerais, como a terra crua. Devido à grande preocupação que se tem hoje com as questões ligadas ao desequilíbrio ambiental, é cada vez maior a busca por materiais de baixo impacto ambiental e energético, capazes de reduzir o uso de materiais e tecnologias que agridam o meio ambiente.

Segundo Ganapathy *et al* (2002), o primeiro painel de bambu foi produzido na China, em 1940. Desde então, cerca de 28 tipos de painéis foram desenvolvidos. Entretanto, da sua totalidade, apenas alguns como o *bamboo mat board* e o *bamboo strip board* são provenientes de detalhadas investigações e produzidos em escala industrial. Entre os países produtores, destacam-se a China, Índia, Tailândia, Vietnã, Costa Rica e Malásia.

A utilização do bambu para a produção de painéis de vedação mostra-se bastante vantajosa, pois é econômica, de fácil aplicação, podendo ser executada por pessoas que tenham conhecimento básico das técnicas construtivas necessárias. Na Colômbia, por exemplo, as comunidades produzem os painéis de vedação das suas casas sem a intervenção de empresas construtoras ou lojas de materiais de construção.

De acordo com a *Junta del Acuerdo de Cartagena* (1992), a união dos painéis entre si com os elementos de fundação, estrutura e cobertura, formam uma estrutura sólida, capaz de resistir e transmitir cargas e levá-las até a fundação da edificação.

O bambu, frequentemente, é o material escolhido para produzir desde os mais variados tipos de “cercados” até painéis e paredes auto-portantes. Os fechamentos verticais feitos com painéis de bambu podem ser projetados e executados de diversas maneiras, com tecnologias e técnicas construtivas distintas. Estes painéis podem ser produzidos a partir de esteiras entrelaçadas, de módulos pré-fabricados com o uso de madeira e de bambu, podem ser rebocados ou não, e suas juntas podem ser recobertas com o uso de cordas ou fibras naturais, conferindo um detalhe a mais aos painéis de bambu.

Os painéis de bambu geralmente são classificados em duas categorias distintas, que são (A) os painéis de bambu artesanais e (B) os pré-fabricados, facilitando assim o estudo das suas tipologias.

A) PAINÉIS DE BAMBU ARTESANAIS

Os painéis de vedação artesanais geralmente são feitos com os bambus na sua forma natural, como mostra a Figura 1.24, ou na forma de esteiras, podendo estas possuir trama ou trançado decorativo, como apresentado na Figura 1.25. De acordo com Teixeira (2006), é comum a utilização de painéis de vedação com bambus aparentes, compondo formas geométricas e desenhos variados nas fachadas das edificações. Porém, devido à sua maior exposição ao clima e às intempéries, tem a sua vida útil reduzida.



Figuras 1.24: Painel de vedação com bambus em sua forma natural.
Fonte: EBIOBAMBU, 2009.



Figuras 1.25 (a e b): Painel feito com peças trançadas de bambu.
Fonte: MINKE, 2010.

Outra forma de vedação artesanal com o uso dos bambus é a do painel de bambu preenchido com terra, utilizada em muitos países do mundo, sendo chamada de “bareque” na Colômbia, “quincha” no Peru e no Chile, “bahareque” na Guatemala, e “pau a pique” no Brasil. Este sistema possui estruturas construídas de bambu, que podem ser preenchidas ou simplesmente rebocadas com barro ou argila. Os processos de produção são facilmente identificados em projetos de habitações de baixo custo na América Latina, onde as técnicas variam de região para região e de acordo com a necessidade do projeto. Este tipo de painel utiliza uma trama de bambus inteiros no interior da estrutura, e ripas de madeira ou bambu são fixadas horizontalmente nos lados internos e externos do bambu (Figuras 1.26 e 1.27). A estrutura então é preenchida com barro, que pode ser misturado com palhas ou fibras naturais.

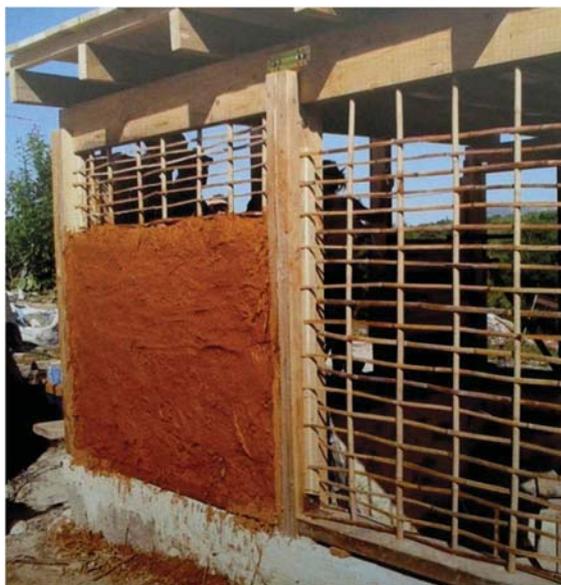


Figura 1.26 Gabarito para a produção de painel de bambu a ser preenchido com terra.
Fonte: MINKE, 2010.



Figura 1.27: Painel de vedação feito com bambus e terra crua.
Fonte: TEIXEIRA, 2008.

B) PAINÉIS DE BAMBU PRÉ-FABRICADOS

Os painéis de bambu pré-fabricados surgem como uma importante opção frente às exigências de qualidade e produtividade do mercado. Nos dias atuais, busca-se cada vez mais a racionalização das obras civis, na tentativa de evitar desperdícios, perda de tempo e aumento de produtividade.

Apresenta-se inicialmente o painel pré-fabricado com moldura de madeira e preenchimento com bambus *in natura*. Este painel funciona estruturalmente como um diafragma rígido, sendo a estrutura (moldura) construída com madeira e o fechamento feito com bambus finos no seu estado natural. Ressalta-se que este tipo de painel é confeccionado de acordo com as exigências de projeto, seguindo o dimensionamento e forma desejada. A Figura 1.28 apresenta a tipologia de painel citada.

Este painel geralmente é revestido com argamassa, tanto na parte externa como interna, visando proteger os colmos de bambu da umidade, da entrada de ar e dos insetos. A Figura 1.29 apresenta uma habitação, que utilizou painéis de bambu como vedação, tendo sido revestidos com argamassa em suas faces externas.



Figura 1.28: Pannel de vedação com moldura de madeira e preenchimento com bambus finos.
Fonte: TEIXEIRA, 2006.



Figura 1.29: Edificação construída com painéis de bambu, que foram revestidos com argamassa nas fachadas externas. Fonte: TEIXEIRA, 2006.

Existe outro tipo de painel de vedação, feito com esteiras de bambu, que por sua vez, possui uma grande diversidade de aplicações em habitações rurais ou urbanas. No Equador, as esteiras de bambu são a base mais importante para a indústria da construção civil, sendo a forma mais utilizada para a produção de painéis, podendo ser rebocadas ou ficar aparentes. A Figura 1.30 apresenta uma casa em fase de construção, na Colômbia, que se utiliza dos painéis de bambu na forma de esteira. A Figura 1.31 mostra a mesma edificação, porém já finalizada, com seus painéis argamassados e pintados.



Figura 1.30: Casa Santander, na Colômbia. Construção com o uso de painéis de bambu em forma de esteira. Fonte: ACFA, 2005.



Figura 1.31: Imagem da utilização de painéis de bambu na forma de esteira, após a aplicação da argamassa. Fonte: ACFA, 2005.

Ambos os painéis de bambu pré-fabricados apresentados, depois de prontos, ou seja, com sua estrutura de bambu rígida e finalizada, podem ser transportados para o local da obra, podendo ser fixados à fundação.

Os painéis, depois de instalados, vedam verticalmente a casa e podem ser revestidos com argamassa de reboco, que além de proteger a edificação da entrada de insetos pelas frestas dos bambus, confere a ela melhor aspecto estético (Figuras 1.32). Tanto as paredes externas quanto as internas podem ser rebocadas. Segundo a *Junta del Acuerdo de Cartagena* (1992), o revestimento também cumpre uma função estrutural, devida a interação da argamassa com os bambus, que reforça os elementos verticais e se encarrega de suportar forças cortantes e cargas horizontais produzidas por ventos ou abalos sísmicos.



Figura 1.32: Casa feita com painéis de bambu, argamassados nas faces externa e interna.
Fonte: ACFA, 2005.

2 PROCESSO PROJETO DOS PAINÉIS DE BAMBU E DA HABITAÇÃO ECONÔMICA

2.1 PROJETO E DETALHES CONSTRUTIVOS DOS PAINÉIS DE BAMBU

A) Requisitos para os painéis de bambu argamassados

Esta etapa da pesquisa apoiou-se basicamente em atividades projetivas e no detalhamento do sistema construtivo dos painéis de bambu argamassados, caracterizando-se como uma metodologia empírica - prática, com a finalidade de avaliar a eficácia do painel de bambu como elemento construtivo das edificações econômicas.

O projeto arquitetônico do painel de bambu foi desenvolvido a fim de propor uma modalidade de painéis de vedação com o emprego dos bambus, de comprovar a eficácia do sistema proposto, além de buscar atender às exigências técnicas e funcionais do projeto arquitetônico da habitação econômica, apresentada nesta pesquisa, no Item 2.2.

O painel de vedação proposto consiste em uma estrutura pré-fabricada de bambu e madeira, produzido fora do canteiro de obra. Depois de pronto, é transportado ao local da obra e fixado às estruturas de bambu (pilares) e vigas baldrame da edificação. Após a fixação (Detalhe 1 da Figura 2.1), os painéis recebem argamassa de revestimento nas duas faces, externa e interna, vedando-se totalmente o painel com a argamassa de revestimento.

Buscou-se desenvolver uma modalidade de painel que levasse em conta as principais características de sustentabilidade estudadas na Revisão da Literatura, bem como a observância das qualidades e defeitos construtivos dos painéis estudados. Não houve, porém, a pretensão de solucionar todos os problemas existentes nos painéis de bambu, nem tão pouco apresentar a melhor solução.

O modelo de painel proposto foi desenvolvido com base em alguns critérios de sustentabilidade e racionalização do sistema construtivo. Buscou-se, inicialmente, a criação de um painel que empregasse, em sua produção, material construtivo de baixo impacto ambiental e humano, sustentável e capaz de substituir com segurança e economia materiais convencionais como o bloco cerâmico, o concreto e a madeira. Elegeu-se, a partir de então, os bambus da espécie *Bambusa tuldooides* (facilmente encontrado em Goiás) e a madeira de reflorestamento da espécie *Pinnus sp.*, de baixo valor comercial.

A simplicidade construtiva também foi um requisito do projeto arquitetônico dos painéis de bambu. É importante que o sistema construtivo seja apreendido com facilidade pela mão-de-obra, contribuindo com a possível autoconstrução, onde os próprios usuários das habitações econômicas constroem as suas casas, em sistema de mutirão e colaboração mútua.

A pré-fabricação dos painéis de bambu proporciona maior agilidade na produção das peças, que podem ser produzidas em grande escala, e a padronização das peças facilita a execução da obra, tornando-a mais limpa e rápida.

Outro ponto importante a ser considerado sob a ótica da sustentabilidade é o baixo peso específico da edificação. Os painéis de bambu são bem mais leves do que as paredes de blocos cerâmicos, por exemplo. Com a utilização deste sistema de vedação vertical pode-se reduzir significativamente o peso da construção, reduzindo também os custos relativos à fundação da unidade habitacional.

Buscou-se melhorar o desempenho do painel de vedação feito de bambu, revestindo as duas faces (externa e interna) com matriz cimentícia. A aplicação de uma argamassa de revestimento proporciona melhorias ao painel de bambu, se comparado com painéis de bambu aparente ou feito com *esterilhas* de bambu. São muitas as vantagens da aplicação da argamassa, como por exemplo, a vedação efetiva das frestas que permitem a entrada de água, ar e insetos e a possibilidade de revestimento das fachadas, com cerâmica ou pintura.

B) Projeto arquitetônico dos painéis de bambu

O projeto arquitetônico do painel de bambu a ser apresentados neste item é composto por vistas, cortes, especificações dos materiais utilizados e detalhes referentes à sua execução. Elegeu-se uma tipologia de painel de bambu que, apesar de não seguir fielmente nenhum dos painéis estudados na revisão da literatura, é fruto de uma adaptação, que buscou a melhoria da qualidade técnica e construtiva de painéis de bambu.

Utilizou-se como matéria-prima básica para a confecção dos painéis o bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, sendo que as varas desta espécie fazem o fechamento do painel. Os bambus foram utilizados em sua forma natural, cilíndrica e oca, com diâmetro externo de aproximadamente 3,50 cm. A espécie *Bambusa tuldoides*, com diâmetros variando entre 3,5cm e 4,0 cm, apresentou-se como espécie adequada para a produção de painéis de

bambu, haja vista que possuem diâmetros reduzidos, alta resistência à compressão e flexão, e são facilmente encontrados no estado de Goiás.

Também foram utilizados bambus da espécie *Dendrocalamus giganteus* para a produção das travessas de travamento do painel. As travessas de bambu auxiliam na fixação do painel. Com o uso de máquinas apropriadas os bambus desta espécie foram abertos e transformados em ripas aplainadas de bambu.

Todos os bambus utilizados neste processo foram colhidos no Município de Araçu / GO e cedidos pela empresa Embambu. Após a retirada da touceira, as varas permaneceram por 60 dias na posição vertical, em local coberto e livre de umidade, secando-se ao ar, sem receber nenhum tipo de tratamento convencional de imunização.

As molduras externas do painel foram feitas de madeira, da espécie *Pinnus sp.*, com dimensões de 2,50m de altura, 0,06m de largura e 0,02m de espessura. A proposta de utilização da madeira como moldura externa do painel foi baseada na tipologia dos painéis utilizados na Colômbia e na Costa Rica, os quais também eram feitos com moldura de madeira e preenchimento com varas finas de bambus (*cañas finas*), fixadas na posição horizontal.

Em painéis de bambu desenvolvidos no ano de 2005, na Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006), experimentou-se o uso de molduras de bambu, da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, cortadas ao meio (meia-cana). Porém, devido a algumas dificuldades construtivas encontradas na montagem dos painéis com o uso da moldura em bambu, optou-se, neste trabalho, pelo uso da moldura de madeira, que apresenta as faces retilíneas e planas, facilitando a montagem do painel.

Quanto ao projeto arquitetônico dos painéis de bambu, foram propostos painéis com altura padronizada de 2,50m, sendo que a largura pode variar de acordo com os fechamentos exigidos pelo projeto. Os colmos de fechamento do painel devem ser utilizados na posição horizontal. A moldura externa de madeira e as travessas retilíneas de bambu fazem o travamento do painel. A Figura 2.1 apresenta uma vista frontal do painel de bambu proposto, com as especificações dos materiais utilizados, cotas básicas e indicação de detalhes, sendo que o “Detalhe 1” será apresentado em maior escala na Figura 2.4 e o “Detalhe 2” será apresentado na Figura 2.6.

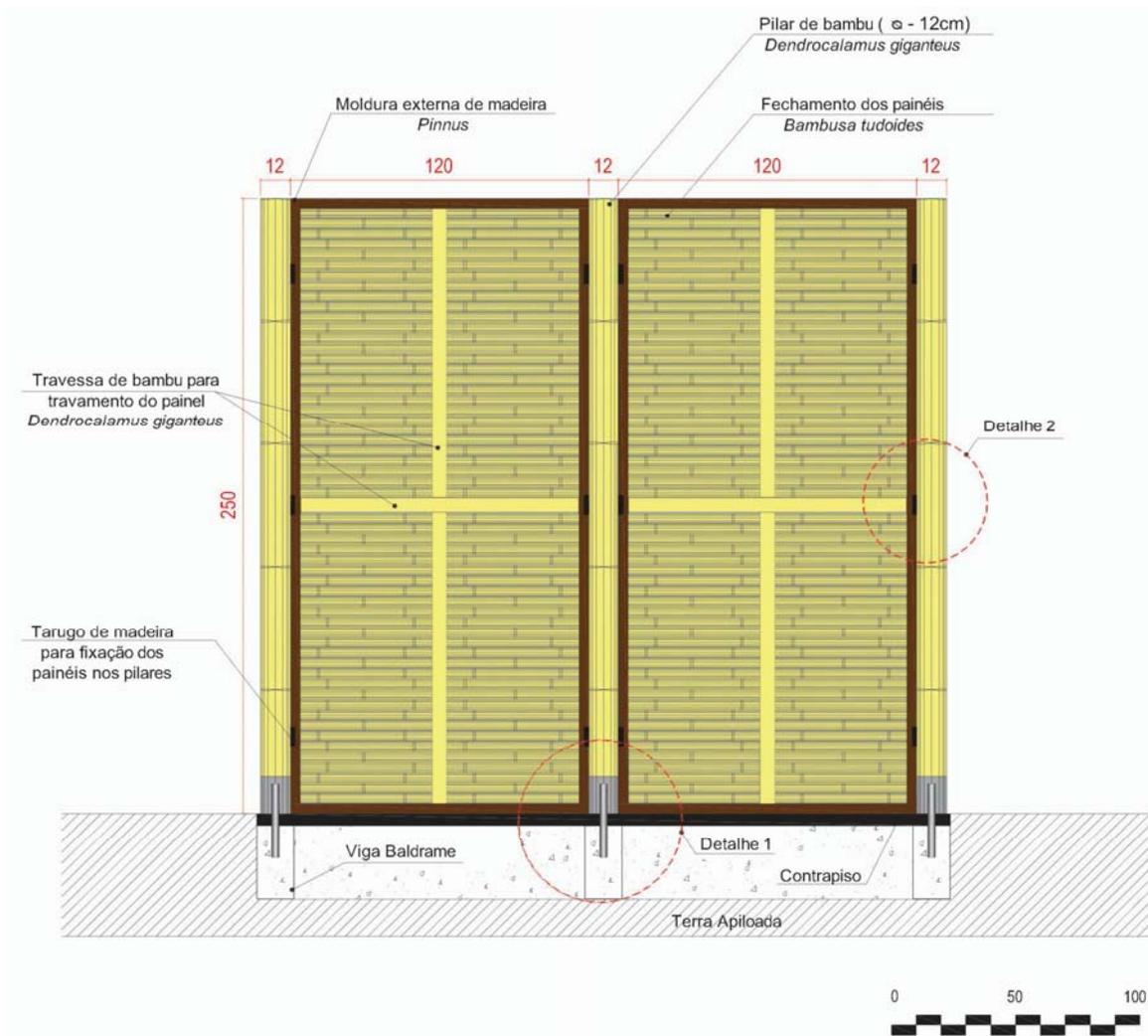


Figura 2.1: Vista frontal do painel de bambu proposto, com moldura de madeira.

A habitação econômica de bambu proposta, apresentada no Item 2.2 deste capítulo, utilizou-se de diversos painéis de bambu para a vedação vertical da casa. O modelo básico do painel de bambu (Painel Geral – P_G) possui diversas variações, para a adaptação de aberturas como portas e janelas. As variações do painel geral (P_G) podem ser observadas na vista frontal e posterior da unidade habitacional (Figuras 2.2 e 2.3), que apresentam além dos painéis gerais, os painéis com aberturas previstas para portas e janelas.

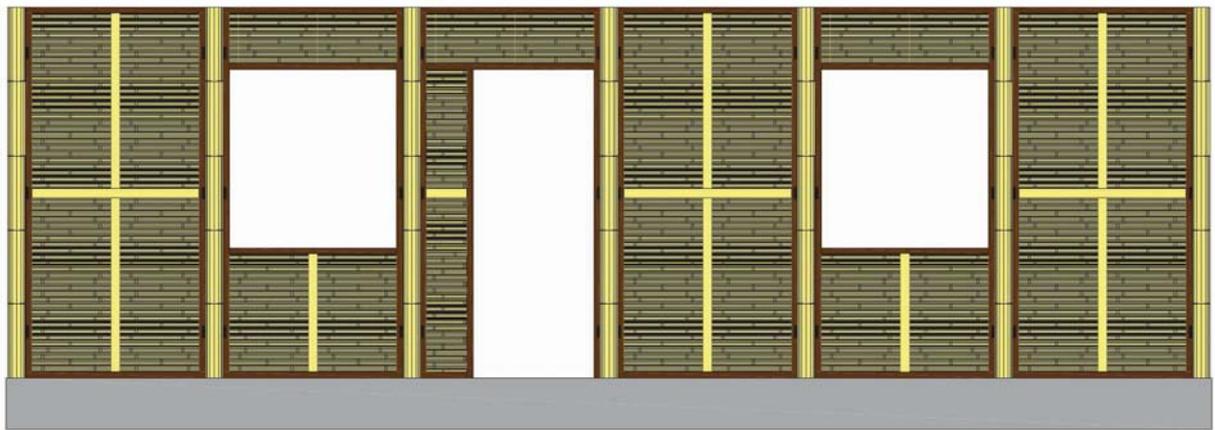


Figura 2.2: Vista frontal dos painéis de bambu utilizados na fachada frontal da habitação.



Figura 2.3: Vista frontal dos painéis de bambu utilizados na fachada posterior da habitação.

Os pilares da habitação proposta são de bambu, da espécie *Dendrocalamus Giganteus*, com diâmetro externo médio de 12 cm, e devem ficar aparentes. A fixação destes pilares à viga baldrame é feita através de chumbadores de aço CA 50 (12,5 mm), onde uma das extremidades do chumbador é fixada na viga baldrame e a outra deve ser introduzida na parte inferior do pilar. Neste encontro do chumbador com o pilar, deve ser inserido graute fluido de concreto, por meio de um orifício feito no bambu, visando maior aderência entre o pilar e a fundação. Este detalhe da fixação do pilar à viga baldrame é representado na Figura 2.4.

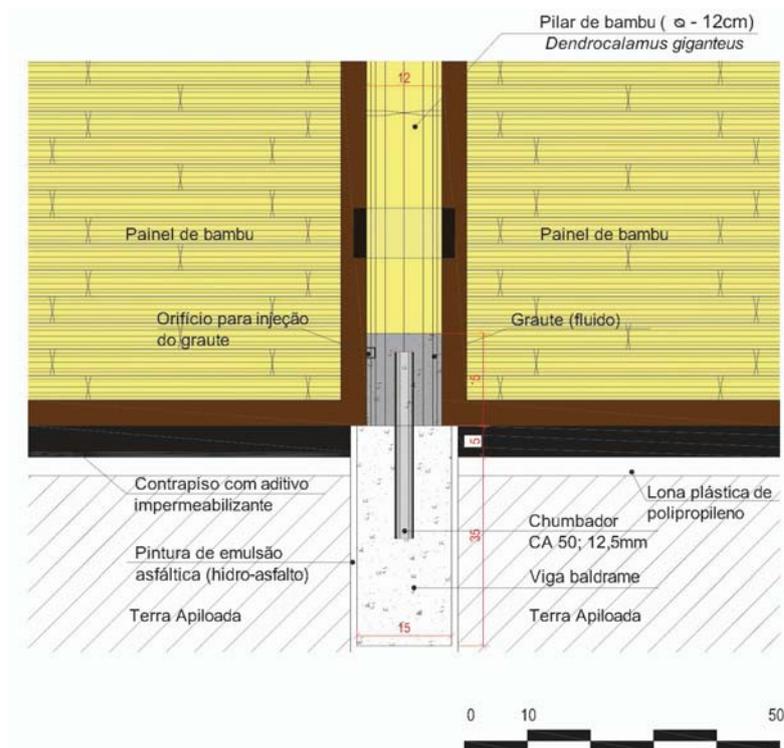


Figura 2.4: Detalhe de fixação do pilar de bambu à viga baldrame (Detalhe 1 da Figura 2.1).

A fixação do painel aos pilares de bambu é feita por meio de uma peça de madeira retangular, a qual chamou-se de tarugo, com dimensões padronizadas de 16cm largura x 10cm de altura x 2 cm de espessura. Este tarugo deve traspassar-se pelo pilar, através de aberturas / cortes retangulares feitos no bambu, como ilustram as Figura 2.5 (a e b). Somente após a preparação do pilares, com a inserção dos tarugos de madeira, é que devem ser fixados, posteriormente, os painéis.

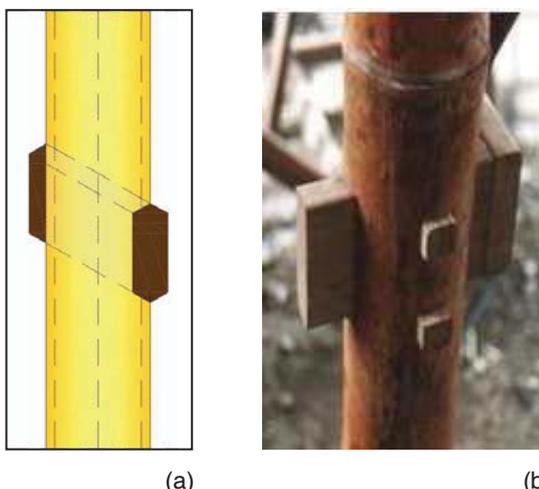


Figura 2.5 (a) e (b): Detalhe em perspectiva do tarugo de madeira inserido no pilar de bambu.

Na Figura 2.5 (b) é possível observar o traspasse do tarugo de madeira ao pilar de bambu, por meio da fotografia de uma construção de habitação econômica, construída na Costa Rica (2008). O sistema construtivo apresentado é simples e pode ser facilmente apreendido pela mão-de-obra, mesmo sem experiência em trabalhos com bambus.

A fixação dos painéis aos pilares de bambu deve ser feita em, pelo menos, três pontos verticais, para conferir uma boa fixação. A Figura 2.6 demonstra o sistema de fixação citado anteriormente, através de um desenho esquemático, onde as setas demonstram o esquema de encaixe das peças. Na Figura 2.7, apresenta-se um corte horizontal do painel de bambu, que ilustra de maneira mais detalhada o encaixe de dois painéis ao pilar de bambu.

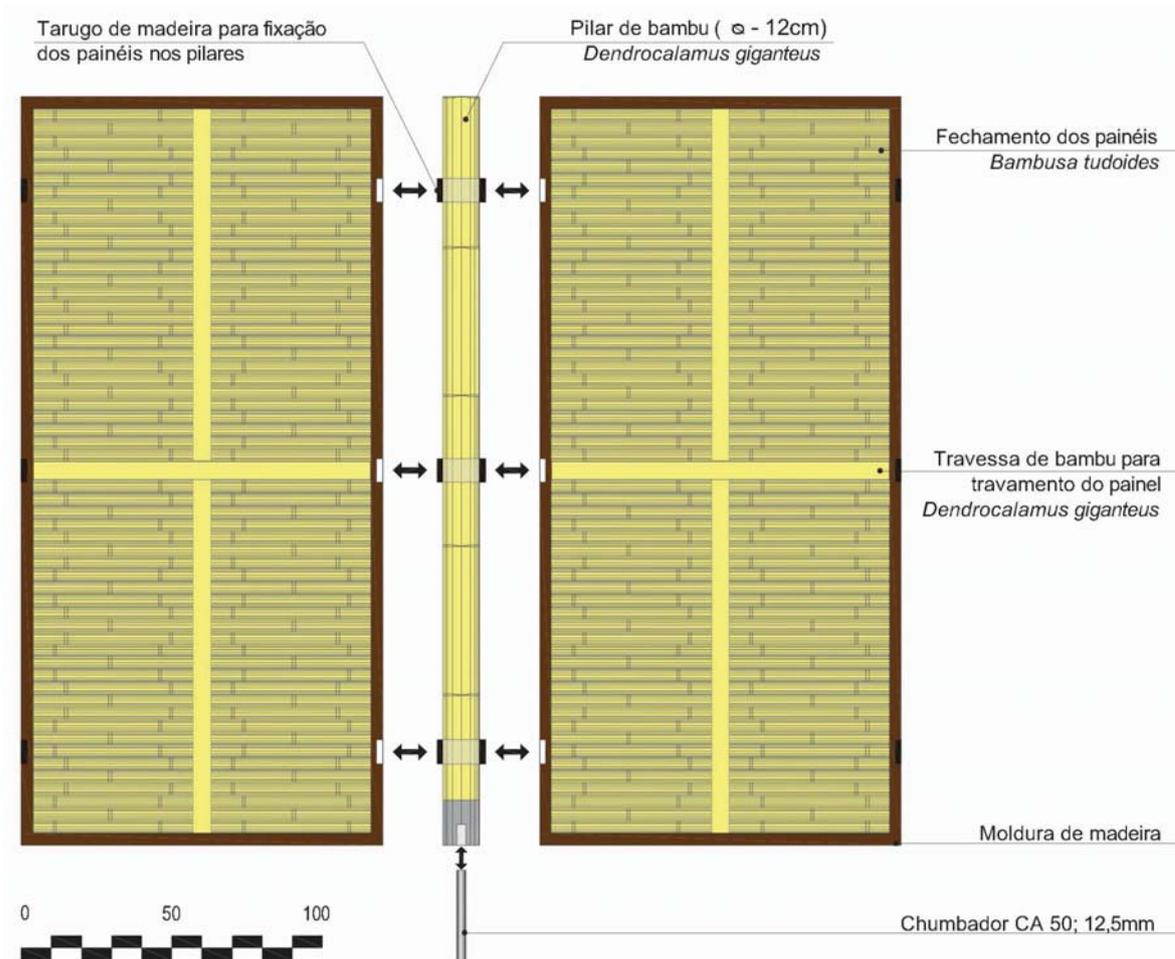


Figura 2.6: Desenho esquemático da união entre o pilar de bambu e dois painéis, por meio de encaixe com a peça de madeira (tarugo). (Detalhe 2, da Figura 2.1).

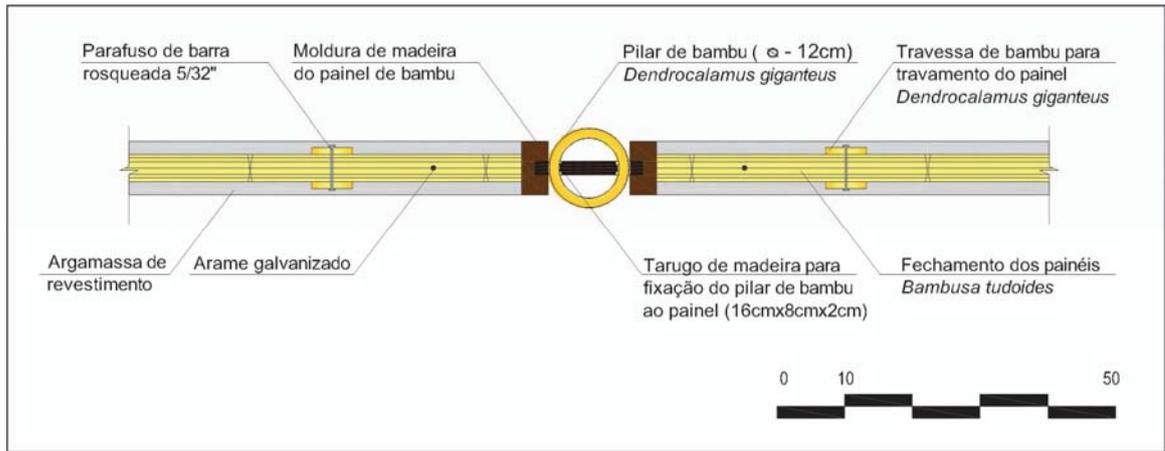


Figura 2.7: Corte horizontal do painel, mostrando a fixação entre o pilar de bambu e os painéis.

A Figura 2.8 apresenta o resultado final da fixação entre os painéis de bambu, o pilar de bambu e a base de concreto (viga baldrame). Desse modo, estando os painéis de bambu presos à fundação e também à estrutura de telhado, pode-se proceder a aplicação da argamassa de revestimento nas duas faces do painel.

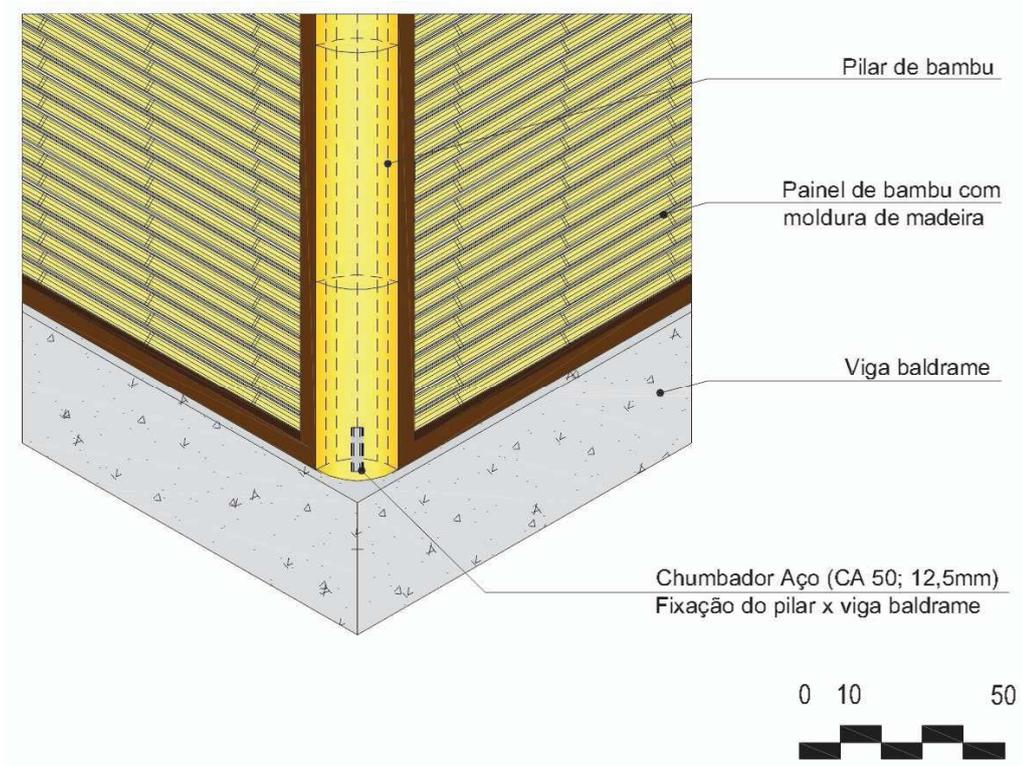


Figura 2.8: Painel de bambu fixado ao pilar de bambu e à base de concreto (viga baldrame).

A aplicação da argamassa de revestimento ao painel de bambu, como dito anteriormente, é feita nas duas faces do painel (externa e interna). A Figura 2.9 ilustra as fases de aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento ao painel de bambu, incluindo-se nas especificações o traço utilizado no chapisco e na argamassa de revestimento.

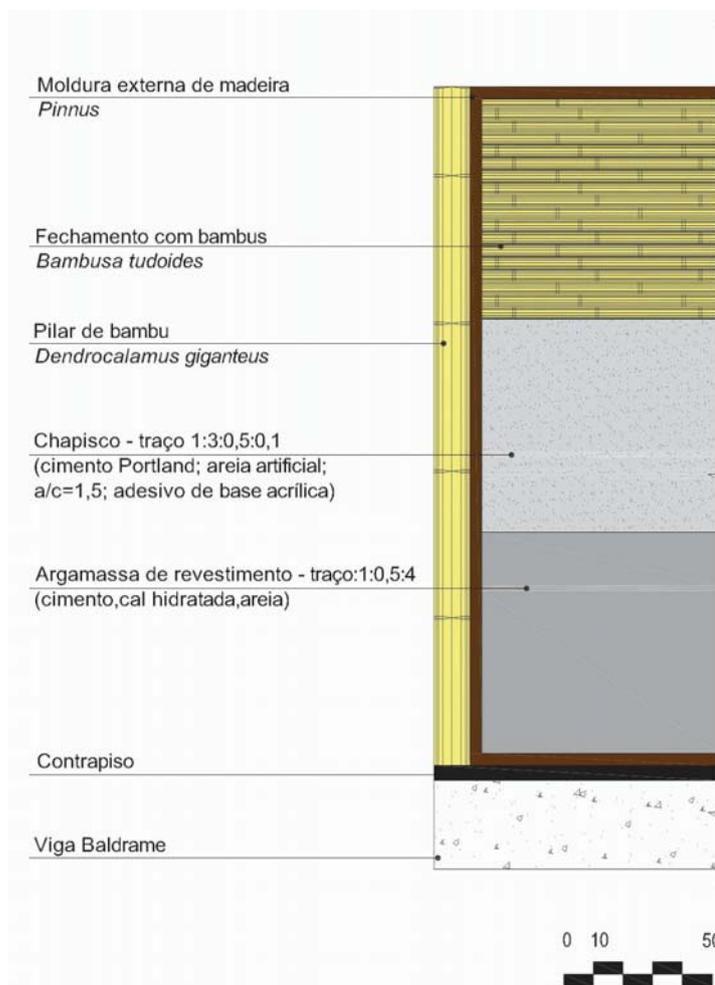


Figura 2.9: Etapas da aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento aos painéis de bambu.

Várias habitações foram construídas na Costa Rica, na capital *San Jose*, a partir da década de 90, utilizando-se do sistema de pré-fabricação de elementos construtivos feitos de bambus, para a construção de habitações econômicas. Dentre estes elementos, destacou-se a produção em grande escala dos painéis de bambu argamassados. As unidades habitacionais, vendidas a preços irrisórios, eram muito bem aceitas pela população de baixa renda.

As Figuras 2.10 e 2.11 mostram uma das casas pré-fabricadas produzidas na Costa Rica, conhecidas popularmente como *Kit Casa Pronta*, dando ênfase aos painéis de bambu já fixados na estrutura da casa, porém, sem a argamassa de revestimento aplicada.



Figura 2.10: Casa pré-fabricada de bambu (*Kit Casa Pronta*), comercializada na Costa Rica (1988).



Figura 2.11: Detalhe do painel de bambu utilizado na casa pré-fabricada de bambu (*kit casa pronta*), antes da aplicação da argamassa de revestimento.

2.2 PROJETO ARQUITETÔNICO DA HABITAÇÃO ECONÔMICA

A) Condicionantes de projeto

O ambiente urbano consome mais de 50% das fontes mundiais de energia com suas construções, atividades, serviços e transportes, sendo responsável por grande parte da emissão de gases que provocam mudanças climáticas, além de consumir parte da matéria-prima existente no planeta.

Todo o quadro do colapso ambiental soma-se ao agravamento do quadro da desigualdade social, onde nota-se que o déficit de habitação digna para grande parcela da população mundial continua preocupante. É importante que governantes e profissionais da área da construção voltem seus olhos para a questão da habitação de interesse social, inserindo neste preâmbulo a qualidade arquitetônica e construtiva destas edificações, sem deixar de lado as premissas do desenvolvimento sustentável.

Segundo Cook (1986), a principal tarefa dos profissionais ligados à construção neste momento, onde a ação do homem na natureza tornou-se insustentável, reside não só nos aspectos funcionais, bioclimáticos, operacionais e de escolha dos materiais das edificações, mas principalmente no desafio de implantar um novo modo de vida. O autor reforça seu ponto de vista concluindo que “a edificação sustentável representa uma revolução em como pensamos o projeto, a construção e a sua utilização”.

A edificação projetada durante o percurso deste trabalho foi realizada como estudo da aplicação dos painéis de bambu em uma edificação. Durante o seu desenvolvimento, observou-se que a sustentabilidade apontava como um importante condicionante de projeto.

Apesar de ainda não existir um consenso do que seja realmente a sustentabilidade, pôde-se identificar neste estudo, a existência de “níveis de sustentabilidade”, ou seja, o cumprimento de algumas etapas que devem ser consideradas no processo de busca por uma arquitetura com menor impacto humano e ambiental.

Outro fator condicionante de projeto foi o sistema construtivo baseado na pré-fabricação de alguns elementos construtivos da edificação. Sabe-se que os sistemas construtivos desenvolvidos por meio da pré-fabricação de seus elementos compositivos, vêm proporcionando avanços significativos para a indústria da construção civil. Grande parte das

construções artesanais ou tradicionais pode incorporar em suas obras, elementos produzidos de forma industrial, resultando em soluções técnicas funcionais que contribuem para a racionalização dos serviços realizados no canteiro de obras.

De acordo com Carvalho (2005), desde as construções com o uso de tijolos de barro até os mais modernos sistemas construtivos, existe uma evolução intrínseca que nem sempre é percebida e valorizada, mas que provocou uma mudança nos ritmos de trabalho, métodos de aplicação e treinamento de profissionais, melhorando a qualidade dos serviços prestados.

O uso de componentes pré-fabricados induz a um processo racionalizado, onde o condicionante é a repetição dos elementos, produzidos por mão-de-obra especializada e equipamentos adequados, visando agilidade na execução e qualidade no produto final.

Nestes casos, a construção final é o resultado da utilização de um determinado número de peças projetadas especialmente para cada função, como forma de reduzir o trabalho artesanal empregado nos métodos construtivos tradicionais.

A pré-fabricação não é de uso exclusivo dos elementos estruturais de um projeto, como pilares, vigas e lajes, podendo ser empregada em componentes construtivos para vedação vertical, como paredes e painéis.

O tradicional “levantamento da alvenaria” tem sido a principal forma de produção das vedações utilizada de modo fundamentado no Brasil, segundo Sabbatini (1998). A vedação vertical é considerada como um dos principais subsistemas dos edifícios e é apontada como um dos pontos críticos da construção, necessitando de medidas que visem à agilidade e a racionalização da sua produção.

A vedação vertical externa tem a função de separar o ambiente externo do interno e de conferir boa aparência à edificação. Além de servirem de suporte e proteção às instalações prediais e aos equipamentos de utilização do edifício, criam também condições de habitabilidade e segurança. Na produção de edifícios, as vedações verticais também têm papel importante, por influenciarem e serem responsáveis por algumas características. Sabbatini (1998) cita algumas:

- a) Determinação de diretrizes para o planejamento e programação da execução da edificação;
- b) Determinação do potencial de racionalização da produção, pois possui interfaces com outros subsistemas (instalações prediais, esquadrias, revestimentos e estrutura);
- c) Participação como elemento estrutural (alvenaria estrutural), ou servir de travamento da estrutura, ou ainda servir apenas de fechamento da edificação;
- d) Profunda relação com a ocorrência de problemas patológicos, como infiltrações, problemas estruturais, dentre outros;

As paredes de vedação com o uso de bambus possuem diversas formas de utilização nas construções, conforme apresentado no Item 1.4 da pesquisa, e podem ser muito vantajosas, pois são econômicas e de fácil execução. A técnica a ser escolhida para cada projeto irá depender da função, da resistência requerida, do controle de entrada de luz e ventilação e da proteção contra as intempéries que se deseja.

B) Projeto arquitetônico de um protótipo de habitação econômica

Nesta etapa do trabalho será apresentado o projeto arquitetônico de um protótipo de habitação econômica, projetada para atender às necessidades de uma habitação de interesse social, onde o principal material construtivo empregado foi o bambu. O estudo preliminar da edificação residencial proposta teve como finalidade mostrar a aplicação dos painéis feitos de bambu e sua função como elemento de vedação vertical, além de demonstrar a viabilidade do emprego de materiais sustentáveis nas edificações.

Entende-se que o exercício de projetar uma edificação econômica de bambu é válido, e gera como consequência, uma reflexão sobre arquitetura sustentável. É relevante o emprego de materiais naturais disponíveis em nossa região, de baixo custo e eficientes do ponto de vista construtivo, nas construções econômicas. Levou-se em consideração, ainda, que é pequena a utilização de materiais sustentáveis para construções econômicas em nossa região e em nosso país.

O projeto foi desenhado para atender às necessidades de uma habitação, que seria construída no Campus da Universidade Estadual de Goiás (UEG), em Anápolis, destinada a

estudantes e pesquisadores que necessitassem de um local para permanecer, durante um período curto, enquanto realizassem pesquisas de campo.

Quanto ao partido arquitetônico, buscou-se atender algumas exigências conceituais, as quais são:

(a) Proposta de uma edificação sustentável, que empregue na construção o uso de materiais naturais, disponíveis na região, de baixo custo e que busquem a harmonia da edificação com o meio ambiente.

(b) Buscou-se a modulação de elementos construtivos como pilares e painéis de vedação, como forma de racionalizar a construção e diminuir tempo e custos na obra.

(c) Buscou-se o conforto térmico da edificação, utilizando-se de materiais e estratégias de projeto que proporcionem o mínimo de conforto ao usuário. Neste aspecto, o bambu apresenta vantagens devido à sua forma cilíndrica e oca, que cria um bolsão de ar na estrutura interna do painel e auxilia no conforto térmico da edificação. O Anexo 1 apresenta um estudo comparativo do desempenho térmico do painel de bambu com outros materiais convencionais.

O Programa de necessidades segue o programa padrão de uma habitação econômica térrea, composto por sala de estar, cozinha, banheiro social e dois quartos. A área construída da habitação é de 64,64 metros quadrados, sem a inclusão das varandas, que pode ser opcional.

Os painéis de bambu pré-fabricados, utilizados como vedação vertical da habitação proposta, possuem medida padronizada de 1,20m x 2,50m x 0,08m. Todos os painéis da habitação, tanto externamente quanto internamente, receberão argamassa de revestimento nas duas faces. Foram criadas cinco variações dos painéis de bambu para atender às necessidades do projeto, as quais foram denominadas da seguinte forma:

(a) **PG** – Painel Geral, modelo básico do painel de bambu, sem aberturas para esquadrias.

(b) **PP1** – Modelo de painel com abertura prevista para porta de abrir de madeira, com medida comercial de 0,70m x 2,10m x 0,035m.

(c) **PP2** – Modelo de painel com abertura prevista para porta de abrir de madeira, com medida comercial de 0,80m x 2,10m x 0,035m.

(d) **PJ1** – Modelo de painel com abertura prevista para janela de correr, com medida comercial de 1,20 x 1,20 x 0,06m.

(e) **PJ2** – Modelo de painel com abertura prevista para janela, do tipo máximo ar, com medida comercial de 1,00m x 0,60m x 0,06m.

A seguir, apresenta-se o projeto arquitetônico da habitação proposta, em fase de estudo preliminar. A Figura 2.12 apresenta a planta baixa da habitação econômica, com cotas básicas, indicação dos ambientes com suas respectivas metragens quadradas e indicação do tipo de painel utilizado, acompanhado de legenda. A Figura 2.13 apresenta uma proposta de *lay-out* para cada ambiente da habitação.

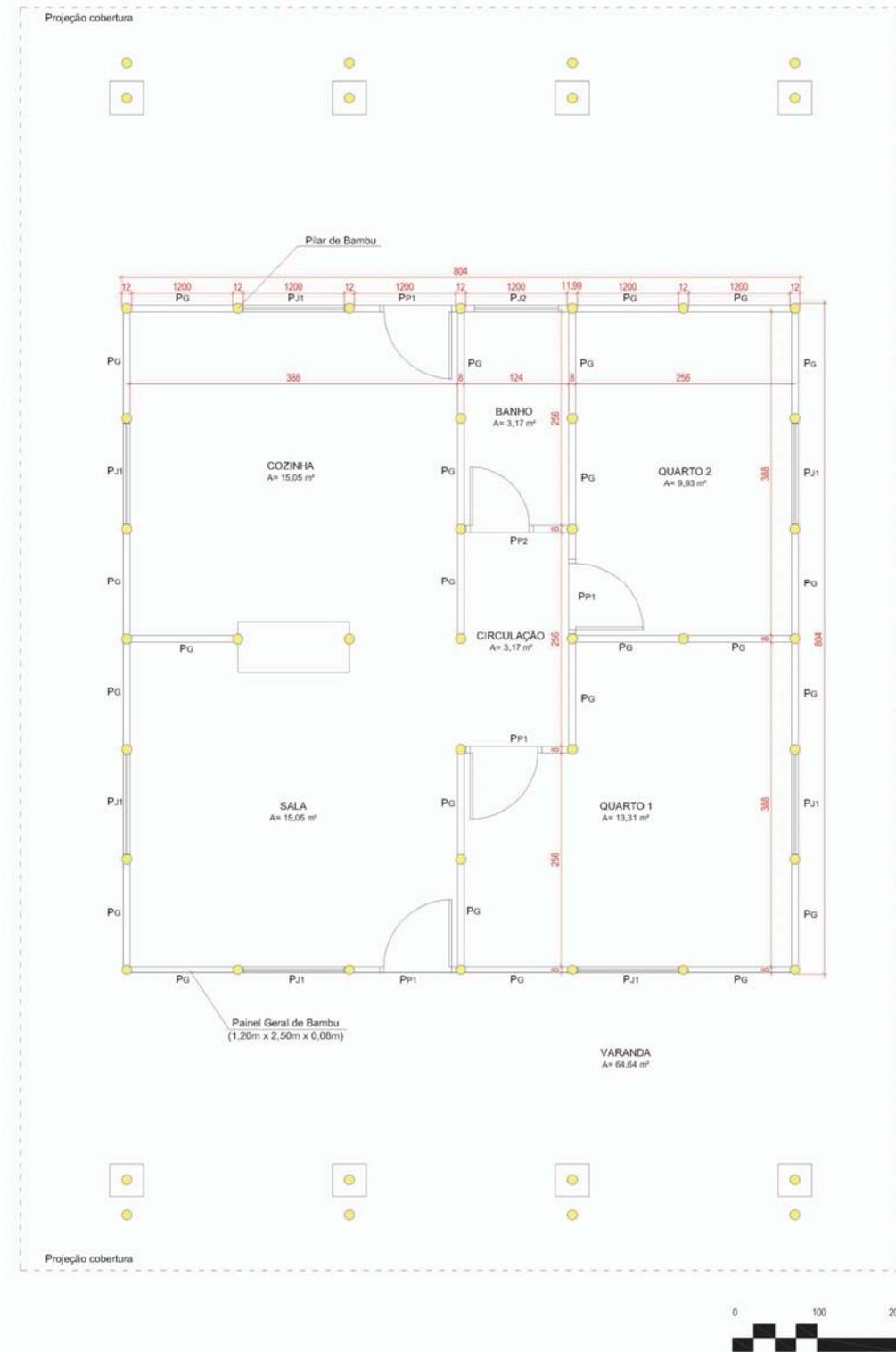


Figura 2.12: Proposta arquitetônica da habitação econômica feita de bambu: planta baixa com especificações técnicas.

LEGENDA

- P_G** - Painel Geral
- P_{P1}** - Painel com abertura de porta (0,70m x 2,10m x 0,035m)
- P_{P2}** - Painel com abertura de porta (0,80m x 2,10m x 0,035m)
- P_{J1}** - Painel com abertura de janela de correr (1,20 x 1,20 x 0,06m)
- P_{J2}** - Painel com abertura de janela máximo ar (1,00m x 0,60m x 0,06)



Figura 2.13: Proposta de *lay-out* da habitação econômica feita em bambu.

A estrutura de telhado proposta utiliza-se de bambus (*Dendrocalamus giganteus*) e madeira, projetada para suportar um telhado de duas águas a ser coberto com telhas de barro. As Figuras 2.14 e 2.15 apresentam perspectivas volumétricas da habitação econômica, desenvolvida a partir dos estudos preliminares.



Figura 2.14: Perspectiva volumétrica da habitação econômica feita com painéis de bambu.



Figura 2.15: Perspectiva volumétrica da habitação econômica, evidenciando o uso dos painéis de bambu.

3 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIOS DE DURABILIDADE

3.1 PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIO DE ENVELHECIMENTO NATURAL

Os painéis utilizados para os ensaios de envelhecimento natural foram produzidos no ano de 2005, durante o desenvolvimento da Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006). Na ocasião, foram produzidos seis painéis de bambu, com dimensões de 1,00m x 1,00m x 0,06m, que foram mineralizados e receberam argamassa de revestimento nas duas faces.

Será apresentado neste item (A) o projeto arquitetônico dos painéis de bambu utilizados para os ensaios de envelhecimento natural; (B) os materiais, ferramentas e equipamentos utilizados para a produção dos painéis; (C) o seu processo de produção e montagem; (D) o procedimento de mineralização dos painéis; (E) e o procedimento de aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento nos painéis de bambu.¹

Depois de prontos, os seis painéis foram submetidos à ação prolongada das intempéries, pelo período de seis anos, na área externa da Universidade Federal de Goiás (UFG), visando estudos e análises futuras sobre o desempenho e a durabilidade dos painéis de bambu, bem como dos bambus extraídos destes painéis.

A) Projeto arquitetônico dos painéis

Os painéis foram feitos com o emprego de bambus das espécies *Bambusa tuldoides* (como fechamento interno), *Phyllostachys bambusoides* (nas molduras) e *Dendrocalamus giganteus* (nas travessas de fixação). Os colmos das espécies escolhidas foram selecionados diretamente na touceira e foram cortados apenas os bambus maduros, com mais de três anos de idade. Foram selecionadas as partes medianas do colmo, sendo dispensadas as partes basal e do topo. Outro aspecto relevante no momento da seleção dos colmos foi a padronização dos diâmetros, onde se buscou cortar colmos com diâmetros aproximadamente iguais, principalmente da espécie *Bambusa tuldoides*, que faz o fechamento do painel de bambu.

¹ A descrição a seguir, do Item “A” ao Item “E”, corresponde a uma reprodução resumida de parte constante da Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006), incluindo as ilustrações apresentadas. Os painéis de bambu produzidos na ocasião foram os mesmos utilizados no processo de envelhecimento natural desta pesquisa.

Após o corte, os colmos foram transportados para local coberto, livre de sol e da umidade, onde ficaram na posição vertical por 90 dias, para escoamento da seiva e secagem natural.

Os painéis foram produzidos a partir de três componentes construtivos básicos, todos feitos de bambu: a moldura, o fechamento interno e as travessas de fixação. O desenho arquitetônico do painel de bambu proposto pode ser observado nas Figuras 3.1 e 3.2 e o seu processo de produção descrito na letra C do presente item.

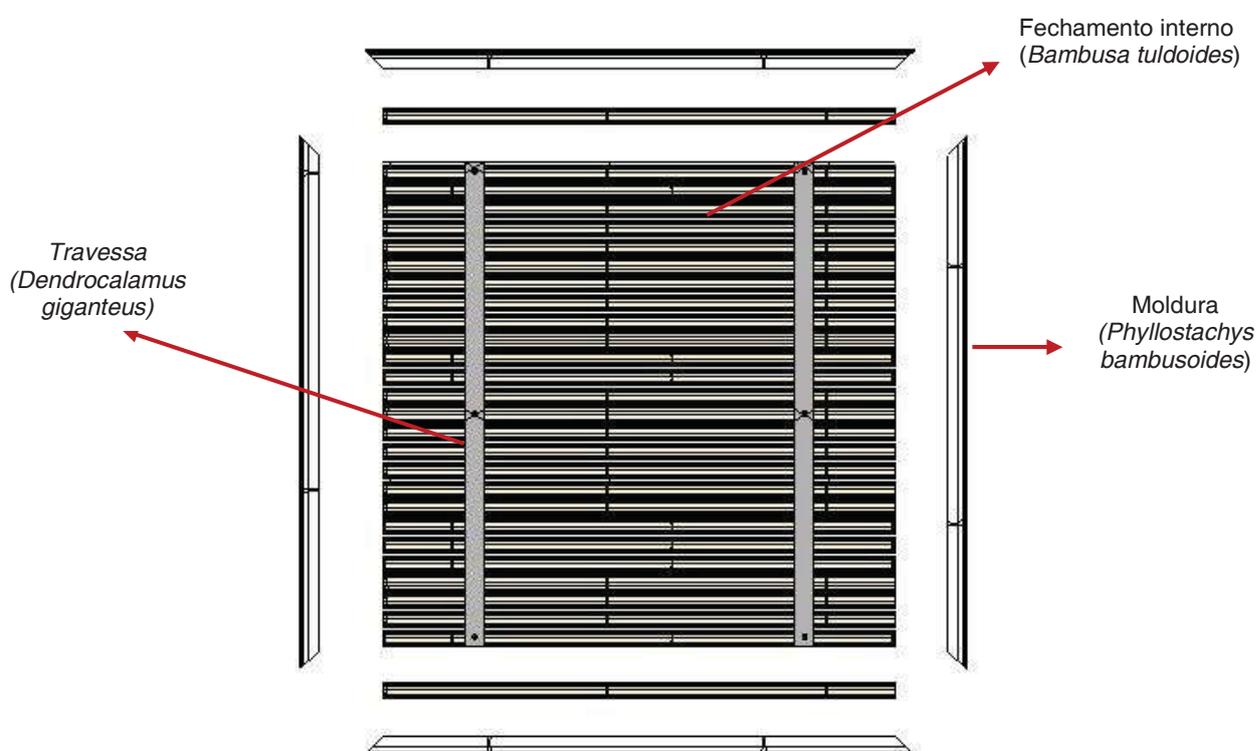


Figura 3.1: Desenho explodido da estrutura de bambu, sem as molduras fixadas ao painel.

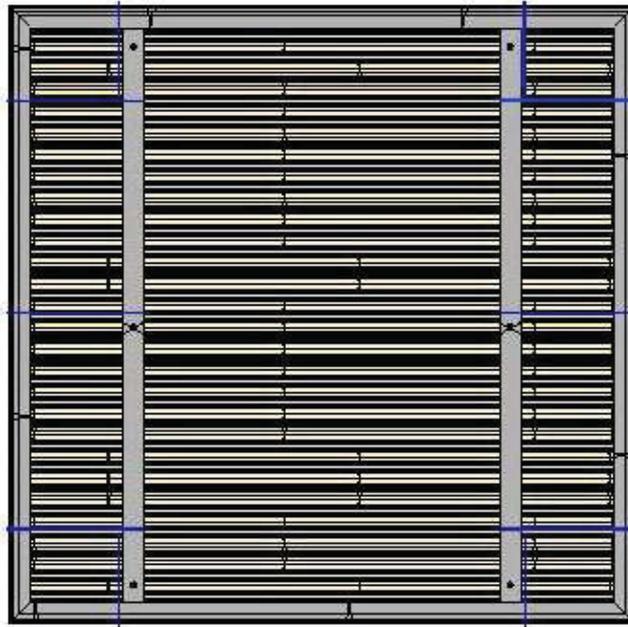


Figura 3.2: Desenho arquitetônico do painel de bambu, com a moldura de bambu fixada à estrutura.

B) Materiais e equipamentos

A técnica utilizada para a produção do painel é simples, não necessitando de ferramentas sofisticadas nem de um espaço físico amplo. As ferramentas utilizadas na fase executiva dos painéis de bambu são facilmente encontradas e de fácil manuseio, exceto a serra circular, que é um equipamento de marcenaria, de tamanho considerável e de alto custo. Esta máquina, porém, é responsável pelo bom acabamento do corte das peças de bambu, pois não estilhaça as fibras e faz cortes especiais, como os cortes em 45°.

Os materiais utilizados para a produção dos painéis de bambu para o ensaio de envelhecimento natural são descritos a seguir, os quais são:

- a) Bambu da espécie *Bambusa tuldooides*, para o fechamento interno;
- b) Bambu da espécie *Phyllostachys bambusoides*, para as molduras;
- c) Bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*, para as travessas de fixação;
- d) Arame galvanizado 2,10 mm, bwg 14, rolo de 35 m;
- e) Parafusos de rosca para máquina de cabeça redonda 5/32”;
- f) Porca estampada 5/32”.

As principais ferramentas utilizadas são descritas abaixo e ilustradas na Figura 3.3 (a) e (b).

- g) Facão ou foice sem bico;
- h) Martelo;
- i) Furadeira com serra copo;
- j) Serra circular;
- k) Retífica elétrica (ferramenta da engenharia mecânica);



Figura 3.3: Ferramentas simples utilizadas na execução dos painéis (a); Serra circular, equipamento apropriado para o corte dos bambus (b).

C) Produção dos painéis

Fechamento interno do painel

Utilizaram-se colmos finos da espécie *Bambusa tuldoides*, de 3,5cm de diâmetro aproximadamente, para o fechamento interno dos painéis. As peças foram colocadas em posição horizontal, cumprindo parte da função de vedação. O processo de união e fixação das peças foi bastante simplificado e contou com o auxílio de duas travessas de bambu (parafusadas) e de pedaços de arame galvanizado, que auxiliaram na estabilização da estrutura de bambu do painel. A Figura 3.4 mostra as varas de fechamento que compõem a estrutura de bambu.

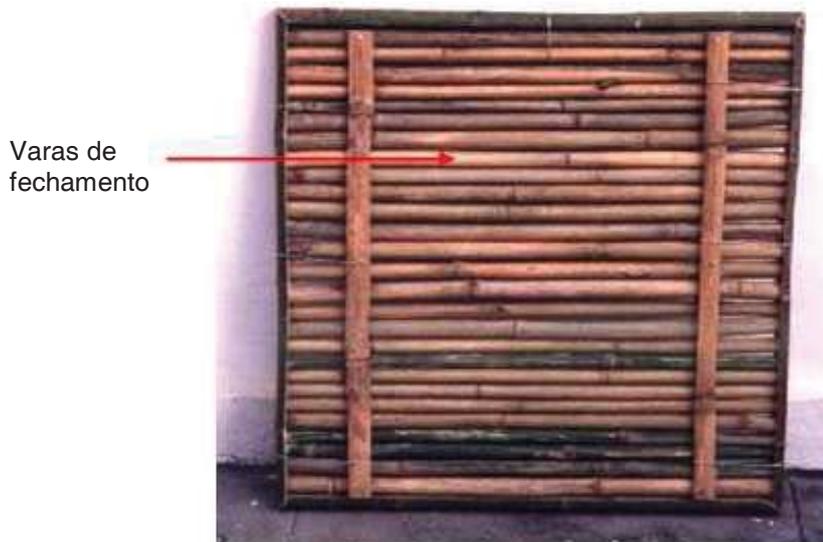


Figura 3.4: Varas de bambu (*Bambusa tuldooides*) utilizadas como fechamento do painel de bambu.

Molduras

Para a confecção das molduras, utilizou-se a espécie *Phyllostachys bambusoides*, com diâmetro aproximado de 5,50cm. Os colmos foram partidos ao meio, manualmente, com o auxílio de facão (ou foice sem gavião) e martelo, formando peças de bambu em meia-cana, como ilustra a Figura 3.5.



Figura 3.5: Bambu cortado em meia-cana (*Phyllostachys bambusoides*), para confecção das molduras dos painéis.

Os colmos de bambu cortados em meia-cana tornaram-se as molduras do painel, após suas extremidades serem cortadas em ângulo de 45° (chanfradas), com a serra circular,

permitindo então a união das peças. A união das molduras se deu através de dois processos, que foram a “pinagem” e a amarração com arame galvanizado

A pinagem foi feita com o uso de pinos de bambu (varetas finas) que passam internamente aos furos feitos com furadeira na moldura, promovendo a união das molduras ao painel (Figura 3.6). O processo é simples, porém não foi suficiente para permitir uma união totalmente estável. O uso de arame galvanizado de 2,10 mm (bwg14, da *Gerdau*) foi fundamental para complementar a união das molduras (Figura 3.7).



Figura 3.6: Processo de “pinagem” para a união das molduras.

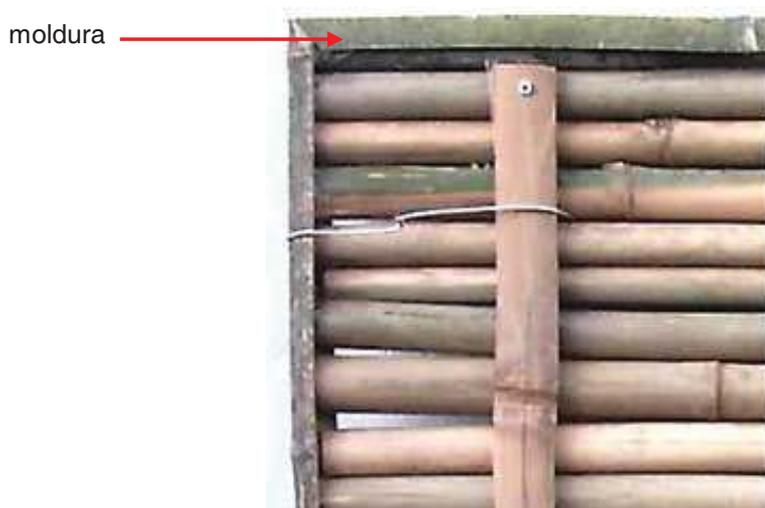


Figura 3.7: Moldura aplicada ao painel, após a pinagem das quinas cortadas em 45° e a amarração com arame galvanizado.

Travessas de bambu

Trata-se de colmos retilíneos, feitas da espécie *Dendrocalamus giganteus*, que foram abertos manualmente e auxiliaram na montagem e fixação do painel, travando as peças de fechamento por meio de parafusos. Na Figura 3.8 pode-se observar a travessa de bambu aplicada ao painel já finalizado. Deu-se preferência pelas travessas mais retilíneas.



Figura 3.8: Travessas de bambu (*Dendrocalamus giganteus*) utilizadas na fixação das varas de fechamento ao painel.

Montagem do painel de bambu

As peças de preenchimento foram organizadas em solo plano, utilizando os bambus mais retilíneos e dispensando as varas tortas, evitando frestas entre elas. Na Figura 3.9 observa-se a organização das varas com o auxílio de uma peça de madeira, que foi utilizada como régua.



Figura 3.9: Organização das varas de fechamento em solo plano.

As travessas foram fixadas nas varas de fechamento, sendo parafusadas dos dois lados do painel, com parafusos do tipo barra rosqueada. As barras rosqueadas foram parafusadas na primeira e na última vara de fechamento, com o auxílio de uma furadeira, promovendo a união entre as travessas de fixação e as varas de preenchimento. A Figura 3.10 (a) e (b) ilustra o procedimento e a Figura 3.11 apresenta as travessas de bambu já fixadas no painel.



Figura 3.10: As travessas de bambu são colocadas por cima e por baixo das varas de fechamento(a); Posteriormente, as travessas são parafusadas nas varas de bambu (b).

D) Mineralização

A mineralização, procedimento que foi realizado logo após o término da montagem das estruturas de bambu, trata-se de um método com pouca bibliografia e divulgação científica, no que diz respeito a sua aplicação e eficiência em bambus. De acordo com Alves (1976), “a

mineralização consiste na preparação de uma solução de silicato de sódio, que ao ser aplicada em fibras vegetais, ajudam a eliminar o efeito da absorção de água destes materiais”.

Tal procedimento demonstrou ser de fácil aplicação, além de utilizar materiais acessíveis como a água e o cimento. A mineralização foi feita mergulhando-se as estruturas de bambu em um tanque com uma calda de cimento e água (relação 1:5, cimento:água), sendo utilizado na ocasião, 600 litros de água para 120 kg de cimento.

Antes de serem mineralizados, todos os componentes da estrutura de bambu são lixados, com lixa grossa para madeira, conforme mostra a Figura 3.11, a fim de promover a aderência entre a estrutura de bambu e a argamassa de revestimento, a qual foi aplicada posteriormente.



Figura 3.11: Toda a superfície da estrutura de bambu é lixada, a fim de promover maior aderência entre os bambu e a argamassa de revestimento a ser aplicada.

No processo de mineralização, as estruturas de bambu permaneceram 48 horas submersas na calda de cimento, como demonstra a Figura 3.12 (a) e (b).



Figura 3.12: Imagem da calda de cimento sendo preparada no tanque (a) e das estruturas de bambu imersas na calda de cimento (b).

Após o período de imersão, os painéis foram retirados da calda de cimento para secagem natural, em ambiente coberto, na posição vertical, protegidos do sol e da umidade, por sete dias.

E) Aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento

Aplicação do chapisco

O chapisco, técnica aplicada às alvenarias convencionais e que antecede a aplicação da argamassa de revestimento, foi projetado sobre os painéis de bambu. Foi composto por uma argamassa de cimento, areia e adesivo de base acrílica, a fim de formar uma camada áspera de ancoragem.

Segundo Figueiredo (1989), as camadas de fronteira prejudicam a aderência entre dois materiais quando não são removidas das suas superfícies. Representam camadas fracas de fronteiras a poeira, óleos e graxas, óxidos ou qualquer outro material que não tenha sido removido do substrato.

Após o procedimento da mineralização das estruturas de bambu (Item D), observou-se a formação de *cascas* de pasta de cimento aderidas aos bambus, que foram removidas antes da aplicação do chapisco. Com leves batidas ou mesmo manualmente, conseguiu-se remover este material. Observou-se o fácil descolamento das cascas de cimento, que caíram ao chão. Na Figura 3.13 (a) e (b) é possível observar as cascas de pasta de cimento, fracamente aderidas aos bambus e, posteriormente, caídas ao chão devido às batidas nos painéis.

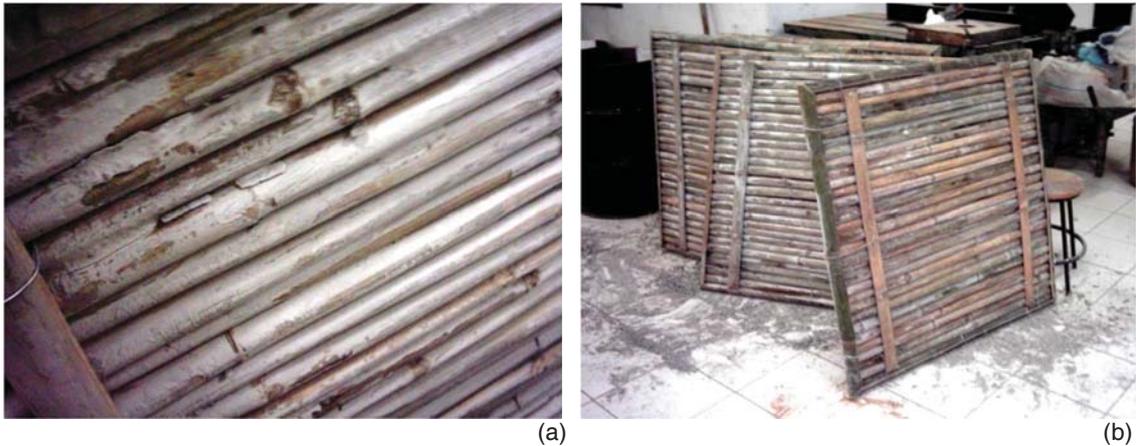


Figura 3.13: Pasta de cimento aderida ao bambu, após a mineralização (a); Cascas finas de cimento despregam-se facilmente dos painéis e caem ao chão (b).

As estruturas de bambu foram chapiscadas com uma argamassa de traço 1 : 3 : 0,5 : 0,1 (cimento Portland CP II-F : areia artificial : a/c igual a 0,5 : adesivo de base acrílica). Utilizou-se um galão de adesivo de base acrílica, misturado à água (com peso líquido de 3 kg), para conferir maior aderência à argamassa de chapisco, como mostra a Figura 3.14 (a) e (b).

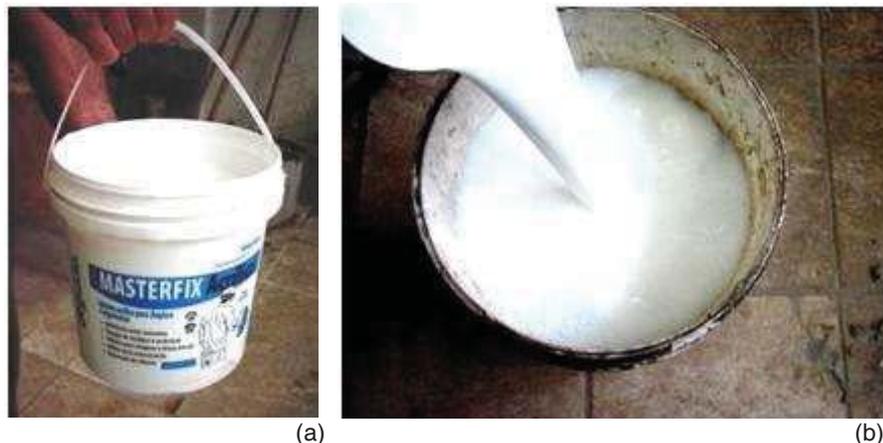


Figura 3.14: Galão de adesivo de base acrílica, utilizado na preparação da argamassa de chapisco (a); Produto sendo misturado na água (b).

Todos os materiais (cimento, areia, água e adesivo) foram misturados em betoneira, como mostrado na Figura 3.15, no Laboratório de Materiais de Construção da UFG, local onde todos os ensaios e avaliações foram desenvolvidos.



Figura 3.15: Preparação da argamassa de chapisco, com o auxílio de betoneira.

A Figura 3.16 (a) e (b) apresenta as estruturas de bambu após a aplicação da argamassa de chapisco, podendo-se observar que a argamassa ficou bem aderida aos bambus. As estruturas de bambu permaneceram por três dias em processo de secagem, para finalmente, proceder à aplicação da argamassa de revestimento.

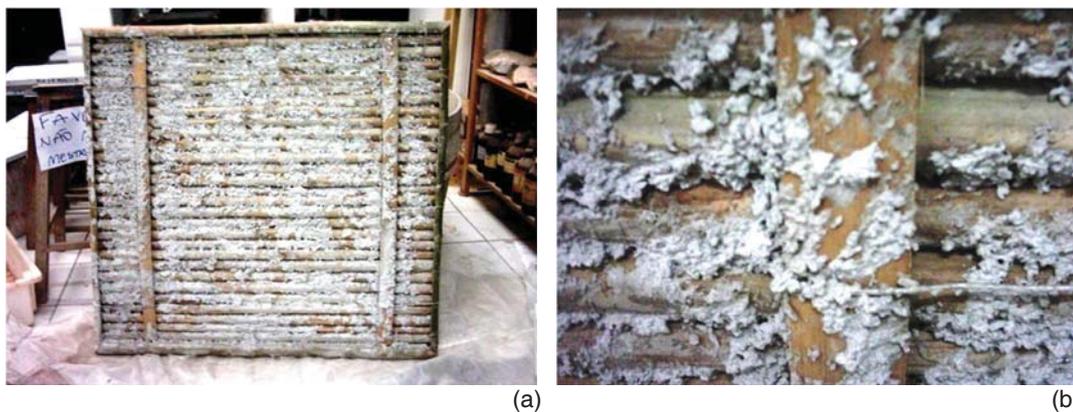


Figura 3.16: Estrutura de bambu após a aplicação da argamassa de chapisco (a);
Detalhe da argamassa de chapisco aderida aos bambus (b).

Aplicação da argamassa de revestimento

As argamassas são destinadas a proteger as paredes contra a umidade externa, ou preparar superfícies para receber a pintura ou outros revestimentos.

A argamassa de revestimento com traço definido em 1 : 0,5 : 4 (cimento Portland CP II-F : cal hidratada : areia de leito de rio), foi preparada em betoneira. Conseguiu-se assim uma argamassa de consistência firme, pronta para ser projetada às estruturas de bambu.

A Figura 3.17 (a) e (b) mostra o aspecto da argamassa de revestimento no estado fresco.

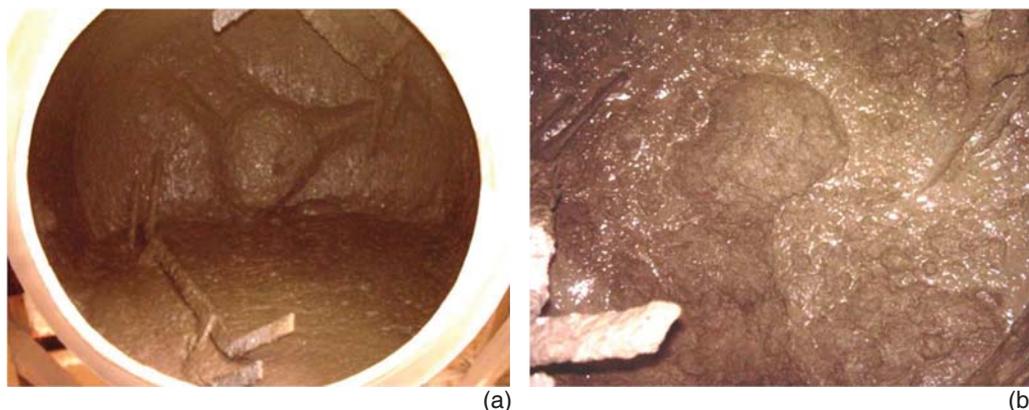


Figura 3.17: Preparação da argamassa de revestimento na betoneira (a);
Argamassa pronta para ser projetada às estruturas de bambu (b).

A Figura 3.18 (a) e (b) mostra as estruturas de bambu sendo argamassadas. A espessura da argamassa deve ser suficiente para cobrir todas as varas de preenchimento e as travessas de bambu. Apenas as molduras de bambu não foram argamassadas, ficando aparentes.

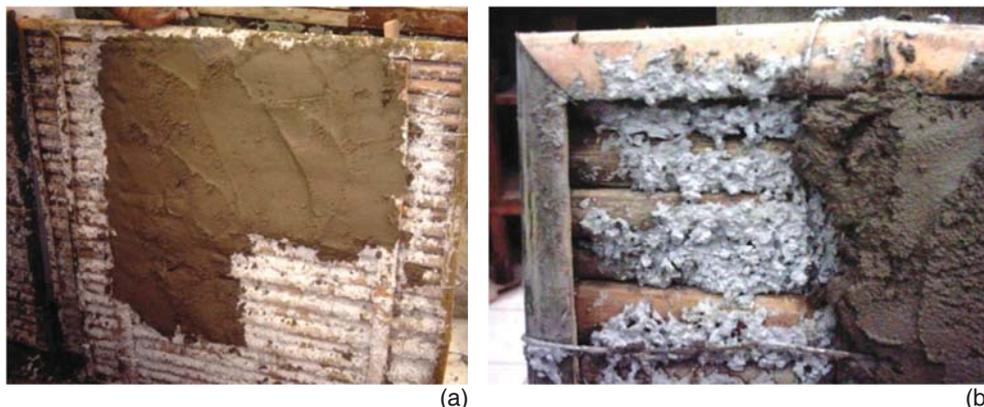


Figura 3.18: Argamassa sendo aplicada nas estruturas de bambu(a);
Apenas a moldura de bambu deve ficar aparente (b).

Para a aplicação da argamassa de revestimento nas estruturas de bambu, foi solicitado como mão-de-obra, um pedreiro e um servente de pedreiro, ambos com experiência. O tempo gasto com o referido procedimento nas seis estruturas de bambu foi de dois dias, onde ao final, a argamassa foi aplainada com uma régua de madeira, conferindo uma superfície homogênea de argamassa de revestimento.

Desse modo, os painéis de bambu foram finalizados. Na Figura 3.19 (a) e (b) pode-se observar as estruturas de bambu revestidas pela argamassa de revestimento e posteriormente sarrafeadas com régua de madeira.

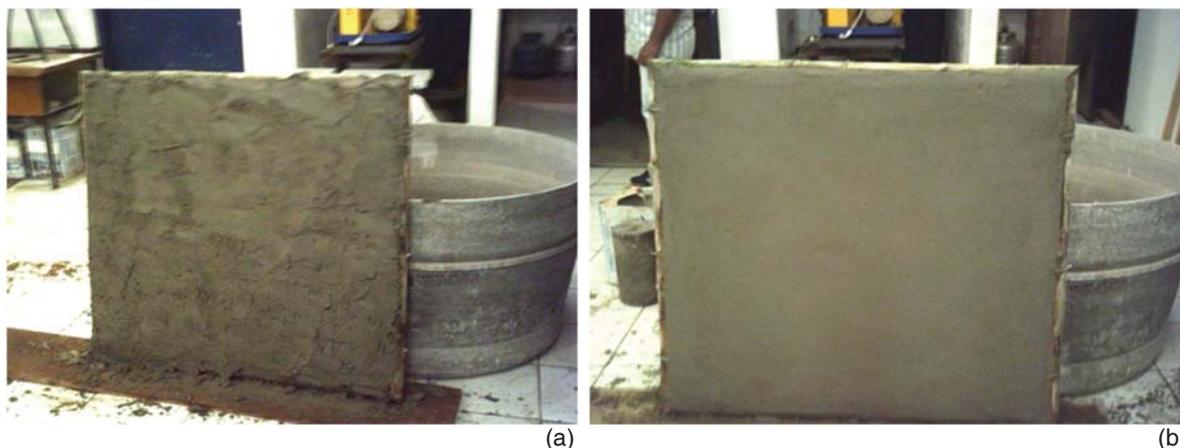


Figura 3.19: Estruturas de bambu recobertas pela argamassa de revestimento (a); Argamassa de revestimento sarrafeada com régua de madeira (b).

Esperou-se 28 dias para a cura da argamassa, para então dar prosseguimento aos ensaios e avaliações dos corpos-de-prova. A Figura 3.20 (a) e (b) apresenta os painéis de bambu finalizados, após a secagem da argamassa de revestimento.

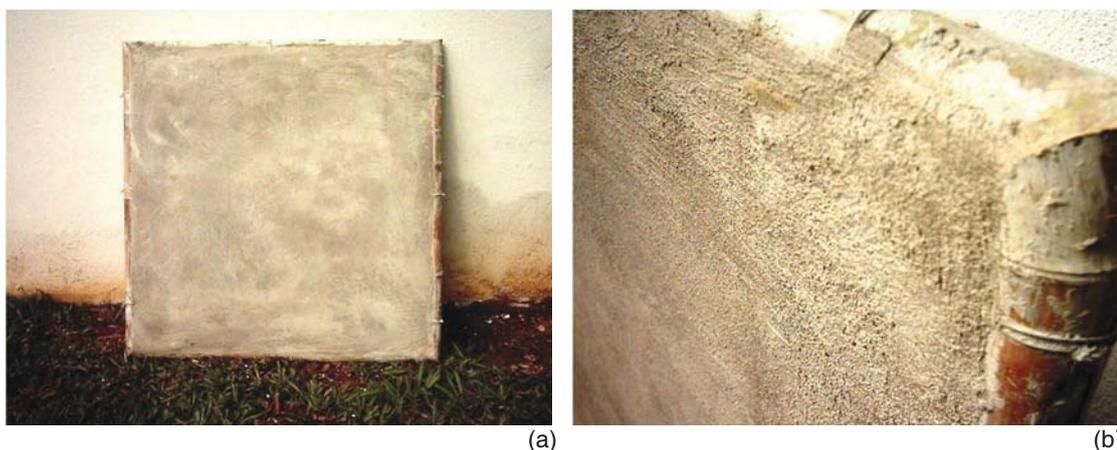


Figura 3.20: Painel de bambu finalizado, após a secagem da argamassa de revestimento (a); Detalhe do painel de bambu após a secagem da argamassa (b).

3.2 PAINÉIS DE BAMBU PARA ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

Para viabilizar as avaliações de durabilidade e desempenho dos painéis de bambu, por meio de ensaios de envelhecimento acelerado, fez-se necessário produzir seis painéis de bambu, também chamados de corpos de prova, com dimensões de 0,60m x 0,60m x 0,06m. Após a produção da estrutura de bambu, os painéis foram mineralizados e receberam argamassa de revestimento nas duas faces. Somente após a secagem (cura) da argamassa de revestimento, os seis painéis foram submetidos ao processo de envelhecimento acelerado, descrito de maneira detalhada no Item 4.4 desta pesquisa, visando a realização de ensaios e análises sobre o desempenho e a durabilidade dos painéis de bambu argamassados.

Justifica-se a dimensão reduzida dos painéis de bambu, produzidos para o ensaio de envelhecimento acelerado, pelo fato de que, a cada ciclo de molhagem e secagem, proposto pelo ensaio de envelhecimento acelerado baseado na Norma NBR 13.554 (ABNT, 1996), os painéis deveriam ser manuseados e transportados, com frequência. Para tanto, os painéis deveriam ser leves, de fácil manuseio, e possuir medidas tais que possibilitassem a sua acomodação em Estufa de Esterilização Universal, Modelo 219, marca Fabbe-Priman.

Neste Item, apresenta-se (A) a proposta arquitetônica dos painéis de bambu produzidos para os ensaios de envelhecimento acelerado; (B) os materiais, equipamentos e ferramentas utilizados no processo de produção; (C) todo o processo de produção e montagem dos painéis; (D) o procedimento de mineralização; e (E) a aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento nos painéis de bambu. Buscou-se manter, na medida do possível, certa padronização entre o processo de produção dos painéis para envelhecimento acelerado e o processo construtivo adotado na produção dos painéis de bambu para ensaios de envelhecimento natural (Item 3.1).

A) Projeto arquitetônico dos painéis

Os painéis a serem apresentados no presente Item (3.2), foram desenvolvidos exclusivamente para possibilitar a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado em painéis de bambu argamassados. A produção destes painéis se deu a partir de simples estruturas feitas de bambus que, posteriormente, foram mineralizadas e argamassadas. A espécie *Bambusa tuldoides* foi escolhida como material construtivo para o fechamento dos painéis e a espécie *Dendrocalamus giganteus* foi escolhida para a confecção das molduras. Os colmos de bambu foram colhidos em touceiras situadas no município de Araçu - GO,

sendo selecionados preferencialmente os bambus maduros e retilíneos. Após o corte, os bambus foram transportados para local seco, protegido do sol e da umidade, ficando na posição vertical por 60 dias. Dessa forma, os colmos escolhidos foram secos ao ar, de maneira natural.

Os painéis foram produzidos a partir de componentes construtivos feitos de bambu, que são os colmos de fechamento e as molduras. A utilização de pedaços de arame galvanizado foi importante para auxiliar na fixação das molduras às peças de fechamento (bambus). As Figuras 3.21, 3.22 e 3.23 apresentam o desenho técnico dos painéis de bambu propostos, para os ensaios de envelhecimento acelerado.

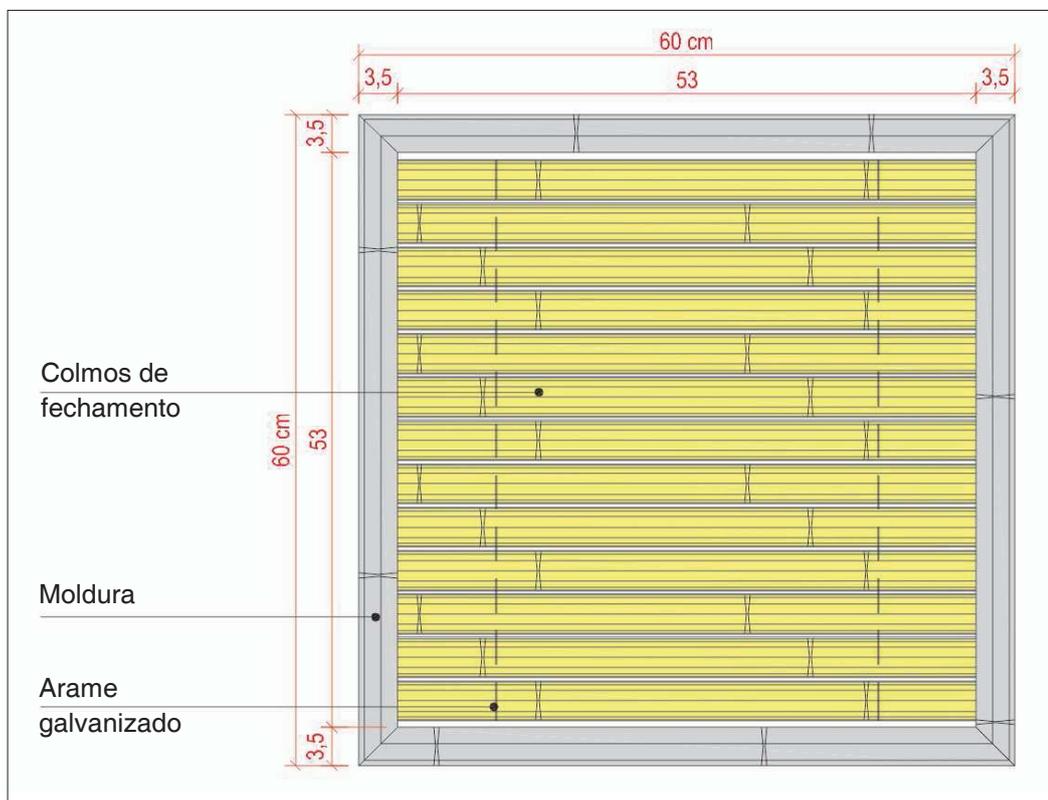


Figura 3.21: Vista frontal do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.

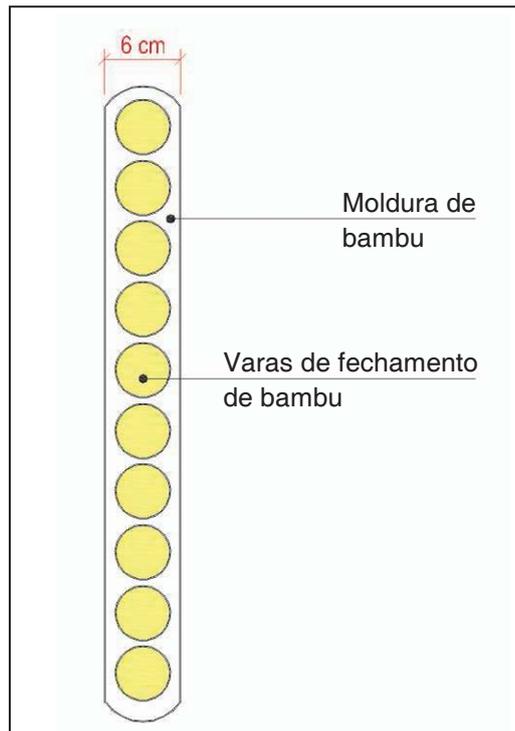


Figura 3.22: Corte esquemático do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.

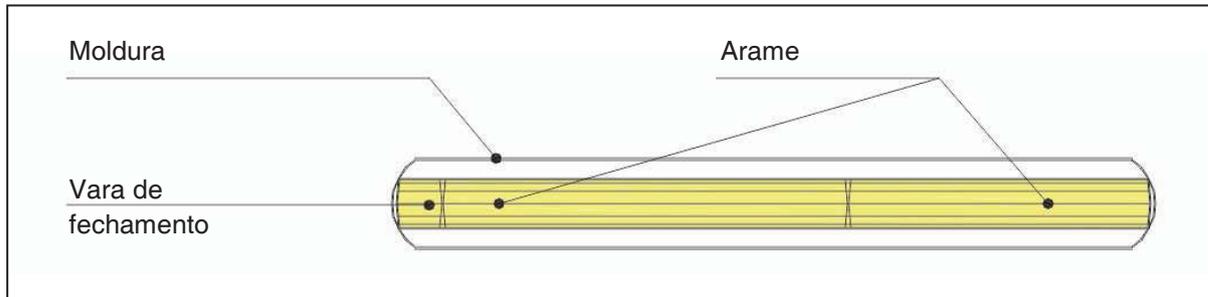


Figura 3.23: Vista superior do painel de bambu, produzido para os ensaios de envelhecimento acelerado.

B) Materiais, equipamentos e ferramentas

Os materiais, equipamentos e ferramentas utilizados para a produção dos painéis de bambu são simples e de fácil manuseio. Quanto à mão-de-obra, foi necessário contar com o auxílio de um carpinteiro para manusear as máquinas e auxiliar no processo de montagem.

Utilizou-se para a referida produção diversos materiais e equipamentos, descritos a seguir, que são ilustrados na Figura 3.24.

- a) Bambus das espécies *Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus giganteus*;
- b) Arame galvanizado;
- c) Serra elétrica;
- d) Furadeira e lixadeira elétrica;
- e) Alicate;
- f) Martelo;
- g) Facão;
- h) Cola branca;
- i) Pinos roliços (varas finas) de bambu.



Figura 3.24: Imagem de materiais e equipamentos utilizados na produção dos painéis de bambu para ensaios de envelhecimento acelerado.

a	b
c	d

a: Bambus utilizados (*Bambusa tuldoides* e *Dendrocalamus giganteus*)

b: Serra elétrica para corte dos bambus.

c: Arame galvanizado para auxiliar na fixação dos painéis durante a montagem.

d: Furadeiras, lixadeira elétrica, alicates e cola branca são alguns dos materiais utilizados.

C) Produção dos painéis

Fechamento interno do painel

Para a montagem da estrutura de bambu, primeiramente, houve a necessidade de se preparar as peças de fechamento do painel, feitas com bambus da espécie *Bambusa tuldooides*, cortando-as nas medidas determinadas no projeto. As peças de fechamento deveriam possuir uma padronização das suas dimensões, com 60,0 cm de comprimento e 3,5 cm de diâmetro externo, e foram cortadas com o auxílio de uma serra elétrica. A Figura 3.25 (a) e (b) ilustra o procedimento citado.



Figura 3.25: Corte das varas de fechamento com o auxílio de serra elétrica (a); Peças de *Bambusa tuldooides* já cortadas, preparadas para a montagem do painel (b).

Molduras

As molduras dos painéis foram produzidas com bambus da espécie *Dencrocalamus giganteus*, com diâmetro externo de aproximadamente 8,0 cm. As peças foram abertas manualmente, com o auxílio de um facão e de um martelo, como ilustra a Figura 3.26.

Depois de abertas as peças, as extremidades foram serradas a 45°, na serra elétrica, para facilitar o encaixe dos quatro lados da moldura no painel (Figura 3.27).



Figura 3.26: Imagem da abertura do bambu ao meio, para preparação das molduras dos painéis de bambu.



Figura 3.27: Moldura de bambu com as extremidades chanfradas em 45°.

Quando partido ao meio, em seção transversal, este bambu forma, naturalmente, uma moldura em meia-cana, capaz de acomodar com facilidade as peças de preenchimentos.

Porém, após a abertura dos colmos de bambu, observou-se que as paredes internas dos nós (diafragma) deveriam ser removidas, para tornar a moldura lisa e homogênea internamente. Utilizou-se uma retífica elétrica para aplainar as paredes internas dos bambus.

Montagem do painel

Depois de preparadas as varas de fechamento e as molduras, pode-se iniciar a montagem do painel. Com uma furadeira, foram feitos pequenos furos nas duas extremidades das varas de fechamento, para permitir a passagem do arame galvanizado. O arame promove a união entre os bambus, facilitando o manuseio das peças no momento da montagem do painel. A Figura 3.28 (a) e (b) demonstra este procedimento.



Figura 3.28: As imagens demonstram o momento da união das varas de bambu, com o auxílio de arame galvanizado.

Estando pronta a estrutura do painel é possível fazer o fechamento dos quatro lados, inserindo-se as molduras de bambu. Esta etapa do processo de montagem é artesanal, sendo necessário por vezes lixar as pontas das molduras, com lixadeira elétrica ou lixa manual, para que se obtenha uma perfeita união entre as extremidades cortadas à 45°.

Depois de finalizado o painel, utilizou-se o arame galvanizado novamente, para amarração externa do painel, de modo a auxiliar a fixação das molduras ao painel. A Figura 3.29 ilustra o processo de montagem de um dos painéis de bambu.



Figura 3.29: Processo de montagem do painel de bambu.

a	b
c	d

a: Montagem da estrutura de fechamento com o auxílio de arame galvanizado.

b: Encaixe manual das molduras de bambu.

c: Fechamento dos quatro lados do painel, com as molduras de bambu.

d: Painel finalizado, com moldura de bambu furada nas extremidades para a pinagem.

Após a montagem da estrutura de bambu, deve-se proceder a pinagem das extremidades, ou melhor, das quinas chanfradas em 45º, com o emprego de pinos de bambu. Foram feitos furos nas extremidades das molduras, com o uso de uma furadeira, para a passagem dos pinos. Os pinos receberam cola branca antes de serem introduzidos, a fim de promover melhor aderência entre o pino e a moldura de bambu. A Figura 3.30 ilustra o procedimento descrito.



Figura 3.30: Processo de “pinagem” das molduras do painel de bambu.

a	
b	c
d	

a: Com a furadeira, são feitos furos nas extremidades da molduras.

b: Utiliza-se cola branca comum.

c: Aplica-se cola branca nos pinos de bambu.

d: Introdução dos pinos de bambu para união das molduras.

Para finalizar a montagem da estrutura de bambu, utilizou-se novamente o arame galvanizado, fazendo-se uma amarração externa sobre todo o painel, complementando a união das molduras.

A Figura 3.31 apresenta as estruturas de bambu finalizadas, prontas para serem mineralizadas e argamassadas, procedimentos que serão apresentados nos Itens D e E, a seguir.



Figura 3.31: Estruturas de bambu finalizadas, antes de serem submetidas ao tratamento imunizante da mineralização.

D) Mineralização dos painéis

O procedimento imunizante da Mineralização, a ser apresentado neste Item, foi desenvolvido seguindo o mesmo procedimento realizado nos painéis de bambu produzidos para os ensaios de envelhecimento natural, descrito no Item 3.1 (letra D).

Inicialmente, as estruturas de bambu foram lixadas com lixa grossa para madeira, para promover uma maior aderência entre a estrutura de bambu e a argamassa de revestimento a ser aplicada. A Figura 3.32 ilustra o momento da aplicação da lixa na estrutura de bambu e a Figura 3.33 demonstra, em detalhe, a aparência dos bambus após a aplicação da lixa.



Figura 3.32: Painel de bambu sendo lixado, antes da Mineralização.



Figura 3.33: A imagem mostra o aspecto do bambu após aplicação da lixa grossa para madeira, com ranhuras na superfície lisa do bambu.

A Mineralização se por meio da imersão dos painéis de bambu em uma calda de cimento. Trata-se de um processo simplificado, sendo necessário para tal apenas cimento, água e recipiente para imersão dos painéis (Figura 3.34).



Figura 3.34: Materiais utilizados para a Mineralização dos painéis de bambu: Cimento, água e recipientes plásticos.

A calda de cimento foi preparada com a mesma relação água cimento utilizada no Item anterior (Item 3.1, letra D), na proporção de 1 : 5 (cimento : água). A Figura 3.35 (a) e (b) demonstra o procedimento sendo realizado, de maneira simplificada, em local arejado.



Figura 3.35: Painéis de bambu sendo mergulhados na calda de cimento (a); Colocação de um peso sobre os painéis, para que fiquem totalmente submersos na calda de cimento (b).

Os painéis ficaram mergulhados na calda de cimento por 48 horas. Durante este período, houve a necessidade de movimentar a calda de cimento por várias vezes, para que o cimento não endurecesse no fundo do recipiente. Após a retirada dos painéis da calda de cimento, estes ficaram em descanso na posição vertical, por sete dias, para escoamento natural da água e até ficarem completamente secos.

Os bambus, depois de secos, apresentaram cor esbranquiçada e nata de cimento aderida à superfície externa, devido ao contato direto com o cimento (Figura 3.36). O excesso de nata de cimento foi removida do painel, batendo-se levemente o painel ao solo.



Figura 3.36: Aspecto do painel de bambu após a Mineralização: natas de cimento aderidas à superfície externa do painel.

E) Aplicação do chapisco e da argamassa de revestimento

As estruturas de bambu receberam uma camada generosa de chapisco, com de traço 1 : 3 : 0,5 : 0,1 (cimento portland CPII-F : areia artificial média : a/c igual a 0,5: adesivo de base acrílica), afim de melhorar a aderência da argamassa de revestimento aos colmos de bambu. Utilizou-se para tal procedimento, o mesmo traço e a mesma metodologia adotada nos painéis de bambu para ensaio de envelhecimento natural (Item 3.1, letra E). A Figura 3.37 apresenta os materiais utilizados para a aplicação do chapisco, que são cimento, areia artificial e adesivo de base acrílica. As especificações técnicas do adesivo de base acrílica utilizado encontram-se descritas no Anexo 2.



Figura 3.37: Materiais utilizados para a produção da argamassa de chapisco: areia, cimento e adesivo de base acrílica.

A Figura 3.38 mostra o momento do lançamento do chapisco às estruturas de bambu, feito por um operário, com o auxílio de uma colher de pedreiro.



Figura 3.38: Lançamento do chapisco às estruturas de bambu.

Após a aplicação do chapisco, os painéis permaneceram 07 dias em processo de secagem natural, em ambiente coberto, ficando assim prontos para receber a argamassa de revestimento, nas duas faces dos painéis. A Figura 3.39 (a) e (b) demonstra a aparência dos painéis após a aplicação do chapisco.

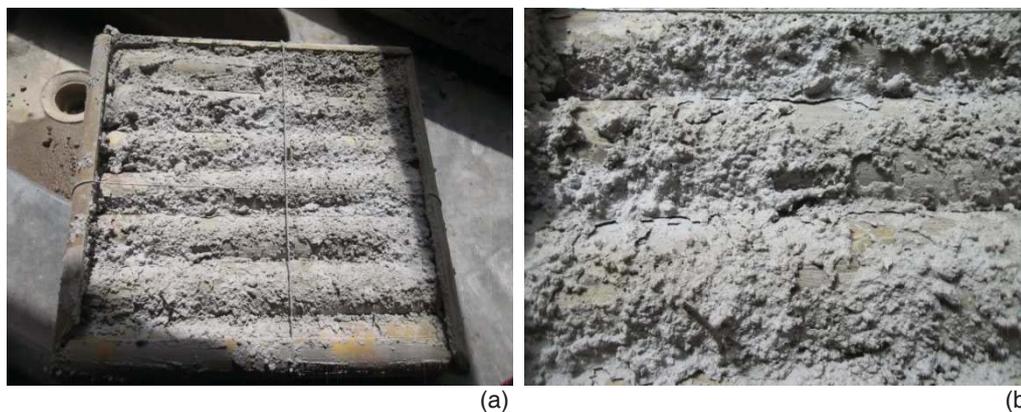


Figura 3.39 (a) e (b): Painéis de bambu secos após a aplicação do chapisco.

A argamassa de revestimento, preparada manualmente em carrinho de mão, com traço definido em 1 : 05 : 4 (cimento Portland CII-F : cal hidratada : areia artificial média), foi lançada aos painéis de bambu com base chapiscada. Com a utilização do traço descrito anteriormente, obteve-se uma argamassa de consistência firme, ideal para ser utilizada sobre estruturas de bambu. Os ensaios de resistência de aderência da argamassa de revestimento aderida a painéis de bambu, desenvolvidos na Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006), comprovaram bons resultados com o emprego deste traço de argamassa. Na Figura 3.40 (a) e (b) pode ser observada a composição da argamassa de revestimento e o aspecto da mesma no seu estado fresco.



Figura 3.40: Materiais componentes da argamassa de revestimento como cal hidratada, cimento e areia artificial média (a); e aspecto da argamassa de revestimento no estado fresco (b).

A argamassa foi aplicada sobre todos os painéis de bambu, nas duas faces, com espessura suficiente para cobrir todas as varas de fechamento de bambu. Utilizou-se uma colher de pedreiro para a aplicação da argamassa sobre os painéis (Figura 3.41). As molduras ficaram aparentes, livres da aplicação da argamassa de revestimento.



Figura 3.41: Aplicação da argamassa de revestimento nos painéis de bambu.

Após a aplicação da argamassa, os painéis de bambu foram levados à mesa vibratória do Laboratório de Materiais de Construção da UFG, para que ficassem com aspecto liso e superfície homogênea. A Figura 3.42 apresenta os painéis de bambu na referida mesa vibratória e a Figura 3.43 demonstra o aspecto do painel de bambu após o procedimento.



Figura 3.42: Painéis de bambu recém argamassados, sendo vibrados na mesa vibratória.

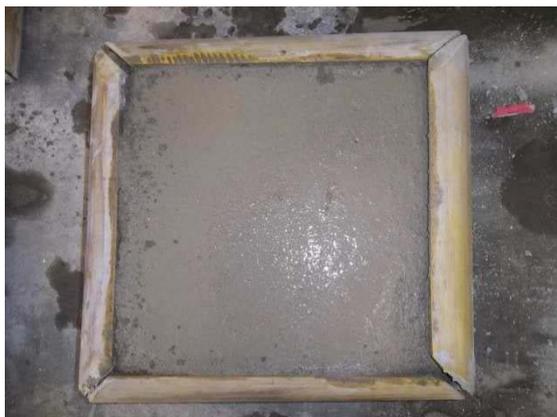


Figura 3.43: Aspecto visual do painel de bambu após aplicação da argamassa de revestimento.

Os painéis ficaram protegidos da umidade e do sol, em local coberto, pelo período de 28 dias, até a secagem completa da argamassa de revestimento. O aspecto visual da argamassa de revestimento, após sua secagem, pode ser conferido nas Figuras 3.44 e 3.45.



Figura 3.44: Aspecto visual dos painéis de bambu após a secagem da argamassa.



Figura 3.45: Detalhe aumentado do aspecto visual da argamassa de revestimento aplicada aos painéis de bambu.

4 ENSAIOS DE DURABILIDADE

Conforme mostrou a Revisão da Literatura, apresentada no Capítulo 1, uma quantidade significativa de estudos foi realizada visando o conhecimento das características físicas, mecânicas e construtivas dos bambus. Estes estudos confirmam que os bambus possuem grande potencial para uso em todas as fases do processo construtivo. No entanto, assim como todas as madeiras, o bambu é suscetível à ação das intempéries e dos microorganismos, o que compromete sua durabilidade, caso não sejam adequadamente protegidos.

Há de se considerar que a maior parte das espécies de bambu apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos) e, segundo Espelho e Beraldo (2008), tornam-se necessárias as buscas por técnicas que sejam aplicáveis em escala industrial e permitam aumentar a durabilidade dos colmos, fazendo com que os bambus sejam mais competitivos em relação aos materiais convencionais.

Grandes avanços já ocorreram na área da durabilidade dos bambus, contribuindo para o aumento da vida útil deste material. Conforme Beraldo e Azzini (2004), a durabilidade dos colmos de bambu pode ser aumentada por procedimentos tradicionais, tais como a maturação, a imersão em água, a defumação, e, ainda, por tratamentos realizados com produtos químicos.

O presente capítulo está apoiado em avaliações experimentais, baseadas em ensaios e procedimentos laboratoriais normalizados. Apesar disso, alguns procedimentos experimentais foram adaptados às particularidades da espécie e dos laboratórios. A Metodologia Experimental proposta tem como objetivo investigar a durabilidade dos bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, bem como investigar a durabilidade e o desempenho de painéis feitos com esta espécie de bambu e argamassados. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (EEC/UFG) e no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Católica de Goiás (LMC/PUC-GO), que, gentilmente, cederam seus equipamentos, espaços físicos e a valiosa contribuição de seus laboratoristas.

A avaliação da durabilidade dos painéis de bambu foi realizada a partir da comparação dos resultados de caracterização obtidos nas seguintes condições:

A) Bambus *in natura* (Item 4.1);

B) Painéis de bambu argamassados, **não submetidos** a processo de envelhecimento, e bambus mineralizados extraídos destes painéis (Item 4.2);

C) Painéis de bambu **envelhecidos naturalmente**, expostos às intempéries (sol, vento, chuva e poluição), durante um período de 6 (seis) anos, e bambus mineralizados extraídos destes painéis (Item 4.3).

D) Painéis de bambu argamassados, **submetidos a processo de envelhecimento acelerado**, de acordo com os procedimentos da Norma NBR 13554 (ABNT, 1996), e bambus mineralizados extraídos destes painéis (Item 4.4);

A seguir, apresentam-se os ensaios realizados e os resultados obtidos nas condições A, B, C e D.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS BAMBUS *IN NATURA*

Buscou-se nesta etapa investigar os bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, antes de serem mineralizados e antes de serem utilizados na produção dos painéis de bambu (condições B, C e D), estando, portanto, em seu estado natural.

As amostras foram extraídas da parte mediana de colmos de bambu para caracterização e avaliação do aspecto visual (4.1.1); da umidade (4.1.2); da densidade (4.1.3); da resistência à compressão paralela às fibras (4.1.4); e da flexão perpendicular às fibras (4.1.5). Estes resultados serviram como referência para a avaliação da durabilidade dos bambus, uma vez que foram comparados com os resultados obtidos dos bambus submetidos a processos de envelhecimento natural e acelerado.

4.1.1 Caracterização visual

A avaliação visual dos bambus é um fator importante para a pesquisa, pois pode identificar processos de degradação associados à diminuição das propriedades físicas, mecânicas e visuais dos bambus.

Neste item, são apresentados os resultados obtidos por meio da avaliação visual dos bambus *in natura* que não foram submetidos a processos imunizantes e de envelhecimento.

Os colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* foram colhidos no Município de Araçuaçu - Goiás, com idade superior a três anos, sendo bambus já maduros. Após o corte na touceira, os colmos foram transportados para a empresa Embambu (Senador Canedo – Goiás), onde ficaram em descanso na posição vertical por 60 dias, em local coberto, longe da umidade do solo, do sol e da chuva. Desta forma, obtiveram-se os bambus para o início dos ensaios. Na Figura 4.1 (a) e (b), pode-se observar alguns dos colmos de bambu utilizados na pesquisa.



Figura 4.1: (a) Bambus da espécie *Bambusa tuldooides* sendo transportados; (b) aspecto visual dos colmos de bambu.

A avaliação visual dos bambus foi desenvolvida de maneira simplificada, por meio da observação a olho nu das amostras selecionadas. A Figura 4.2 (a) e (b) apresentam amostras de bambus da espécie *Bambusa tuldooides*, em sua forma natural, após secagem ao ar por 60 dias. Através da imagem pode-se observar o aspecto visual dos colmos *in natura*, apresentando cor amarelada, textura lisa e sem fissuras e diâmetro externo médio de 3,5 cm.

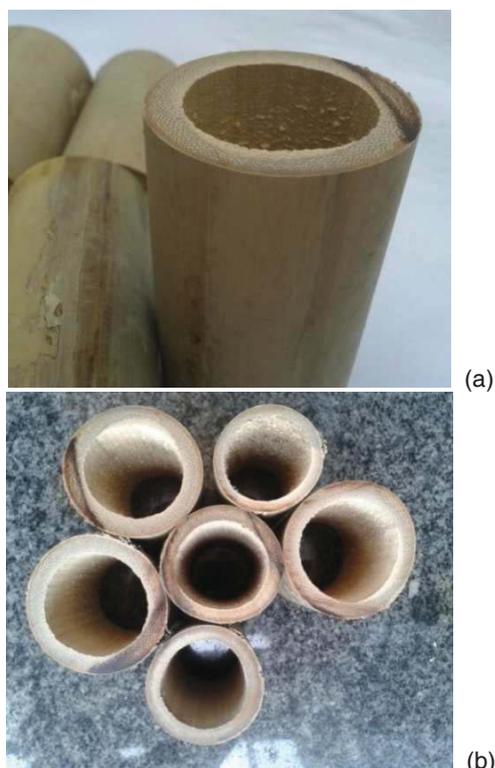


Figura 4.2: (a) Aspecto visual da parede externa dos colmos de *Bambusa tuldooides* naturais e (b) e vista superior dos diâmetros.

4.1.2 Umidade dos bambus *in natura*

De acordo com Beraldo *et al* (2003), o teor de umidade de um colmo de bambu (em base seca) recém-cortado é de cerca de 80%. Esse valor varia em função da idade do colmo e da posição escolhida no mesmo para se efetuar a amostragem, além da época do ano em que foi efetuado o abate. Após o corte do colmo, torna-se necessário um período de um a quatro meses de secagem ao ar, para que o colmo atinja uma umidade entre 10% a 15%. Esse período depende da espécie do bambu, da espessura da parede do colmo, da idade do colmo, da altura de extração em relação ao solo e da época do ano em que o bambu foi colhido.

A secagem é muito importante, pois permite reduzir consideravelmente a massa do colmo, o que, além de facilitar seu transporte, proporciona uma melhoria em suas propriedades mecânicas e na sua durabilidade, afirmam Beraldo *et al* (2003).

O objetivo principal da avaliação da umidade dos bambus, no processo de investigação da sua durabilidade, é a observância da homogeneidade da umidade entre as amostras, antes da realização dos ensaios. Deseja-se que os bambus apresentem uma umidade homogênea, antes de serem inseridos nos painéis e, posteriormente, argamassados, uma vez que diferenças na umidade podem afetar, por exemplo, na retração radial das peças e, por consequência, na aderência entre a argamassa e os colmos de bambu. A umidade também influencia nas propriedades físicas e mecânicas dos bambus.

A produção dos corpos-de-prova para este ensaio se deu a partir da parte mediana de colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, maduros, com medidas aproximadas de 4cm de diâmetro, que foram cortados com serra elétrica (Figura 4.3). A altura foi dada pela medida do diâmetro igual ao comprimento da peça (aproximadamente), seguindo as diretrizes do Item B.6 da NBR 7190 (ABNT, 1997).



Figura 4.3: Bambus sendo serrados em serra elétrica para a produção de corpos-de-prova.

Os dados relativos à umidade natural (de equilíbrio) e saturada dos bambus foram obtidos através de ensaios laboratoriais, para o qual foram preparados 24 (vinte e quatro) corpos de prova, sendo 12 (doze) corpos de prova com nós e 12 (doze) corpos de prova sem nós, para cada uma das determinações de umidade (natural e saturada).

A) Umidade natural dos bambus *in natura*

Para se obter o teor de umidade natural (U%) que os colmos de bambu *in natura* possuem, mediu-se a massa inicial do bambu (M_i) e subtraiu-se da massa seca constante (M_s). A massa seca constante (M_s) foi obtida após a secagem do bambu em Estufa de Esterilização Universal Modelo 219 (FABBE PRIMAN), estabilizada em 100°C, quando a diferença da massa, após sucessivas pesagens, foi inferior a 1%. Nestes casos, a umidade (U) foi dada em percentual (%), conforme mostra a Equação 1, dada pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$U(\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100$$

(Equação 1)

A Figura 4.4 apresenta as amostras de bambus que foram secas em estufa, com nós e sem nós, prontas para a realização dos ensaios.



Figura 4.4: Corpos de prova extraídos da parte mediana do colmo, após secagem em estufa, preparados para realização dos ensaios de umidade.

Após a obtenção dos resultados da avaliação de umidade (Tabelas 4.1 e 4.2), devem ser calculados os “valores característicos” das propriedades dos bambus, adotando-se as orientações do Anexo B.3 da NBR 7190 (ABNT, 1997). Os valores devem ser estimados pela Equação 2:

$$X_{wk} = \left(2 \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2}-1} - X_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (\text{Equação 2})$$

Os resultados são colocados em ordem crescente, de X_1 até X_n , tomando-se a metade. Caso n seja ímpar, despreza-se o maior valor. O valor característico não deve ser inferior a X_1 (menor valor) e nem inferior a 0,7% do valor médio.

Os cálculos para determinação dos valores característicos serão feitos em todas as Tabelas deste capítulo, referentes às avaliações de umidade, de densidade, de compressão paralela às fibras e flexão perpendicular às fibras. É importante ressaltar que, para que seja possível calcular os esforços e as capacidades de resistência de peças de bambu, para produção de componentes construtivos, é necessário que sejam calculados os valores característicos.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam, respectivamente, os resultados de umidade natural dos bambus *in natura*, em amostras sem e com nós.

Tabela 4.1 - Resultados da umidade natural dos bambus *in natura* sem nós.

C.P.	Massa inicial (Mi) (g)	Massa seca em estufa (Ms)(g)	Umidade do bambu <i>in natura</i> (U) (%)
1	20,2	19,0	6,3
2	19,1	18,0	6,1
3	18,4	17,3	6,3
4	19,5	18,3	6,5
5	17,5	16,3	7,3
6	18,7	17,2	8,7
7	18,5	17,4	6,3
8	18,4	17,3	6,3
9	18,4	17,4	5,7
10	18,8	17,7	6,2
11	18,5	17,4	6,3
12	19,2	18,0	6,6

Valores estatísticos

Umidade natural média = 6,55%

Umidade natural característica = 6,5%

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,77%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,74%

c.v. (coeficiente de variação) = 11,27%

Tabela 4.2 – Resultados da umidade natural dos bambus *in natura* com nós.

C.P.	Massa inicial (Mi) (g)	Massa seca em estufa (Ms) (g)	Umidade do bambu <i>in natura</i> (U) (%)
1	35,0	32,9	6,3
2	35,8	33,5	6,8
3	23,4	22,0	6,3
4	20,8	19,5	6,6
5	24,8	23,2	6,8
6	24,6	23,0	6,9
7	23,3	21,9	6,3
8	25,1	23,5	6,8
9	24,3	22,9	6,1
10	26,4	24,7	6,8
11	25,2	23,5	7,2
12	32,6	30,4	7,2

Valores estatísticos

Umidade natural média = 6,68%

Umidade natural característica = 6,4%

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,36%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,34%

c.v. (coeficiente de variação) = 5,16%

Os resultados mostram que a umidade média das amostras com nós (6,7%) é levemente superior às amostras sem nós (6,5%), sendo a umidade média 3,07% superior nas amostras com nós.

B) Umidade de saturação dos bambus *in natura*

As medidas da umidade de saturação (U_{sat}) dos bambus *in natura* foram realizadas após a imersão das amostras em recipiente com água, durante 24 horas, conforme mostra a Figura 4.5. Utilizou-se um peso (peça) de concreto sobre os corpos de prova de bambu para que ficassem totalmente imersos na água. A umidade de saturação dos bambus (U_{sat}) foi dada em percentual (%). O resultado é obtido por meio da Equação 3.

$$\text{USat (\%)} = \frac{\text{MSat} - \text{Ms}}{\text{Ms}} \times 100$$

(Equação 3)



Figura 4.5: Corpos de prova imersos em recipiente com água, para avaliação da umidade de saturação dos bambus *in natura*.

As Tabelas 4.3 e 4.4 apresentam os resultados obtidos da umidade de saturação dos bambus *in natura*, com nós e sem nós.

Tabela 4.3 – Resultados da umidade de saturação dos bambus *in natura* sem nós.

C.P.	Massa seca em estufa (Ms) (g)	Massa saturada (MSat) (g)	Umidade de saturação (USat) (%)
1	19,0	31,0	6,3
2	18,0	28,7	6,1
3	17,3	29,4	7,0
4	18,3	29,7	6,2
5	16,3	27,9	7,1
6	17,2	29,7	7,3
7	17,4	29,3	6,8
8	17,3	29,6	7,1
9	17,4	29,7	7,1
10	17,7	29,8	6,8
11	17,4	29,5	7,0
12	18,0	31,1	7,3

Valores estatísticos

Umidade de saturação média = 6,84%

Umidade de saturação característica = 6,5%

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,42%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,40%

c.v. (coeficiente de variação) = 5,86%

Tabela 4.4 – Resultados da umidade de saturação dos bambus *in natura* com nós.

C.P.	Massa seca em estufa (Ms) (g)	Massa saturada (MSat) (g)	Umidade de saturação (USat) (%)
1	32,9	57,6	7,5
2	33,5	54,4	6,2
3	22,0	39,8	8,1
4	19,5	32,1	6,5
5	23,2	38,8	6,7
6	23,0	40,9	7,8
7	21,9	38,7	7,7
8	23,5	43,5	8,5
9	22,9	41,0	7,9
10	24,7	46,4	8,8
11	23,5	43,5	8,5
12	30,4	52,5	7,3

Valores estatísticos

Umidade de saturação média = 7,63%

Umidade de saturação característica = 6,6%

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,83%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,79%

c.v. (coeficiente de variação) = 10,38%

Assim como ocorreu com a umidade natural dos bambus *in natura*, a umidade de saturação média das amostras com nós (7,6%) foi levemente superior aos resultados obtidos nas amostras sem nós (6,8%), sendo a umidade de saturação 11,76% superior nas amostras com nós.

4.1.3 Densidade dos bambus *in natura*

A densidade básica é uma das principais características físicas do colmo de bambu, sendo que essa propriedade pode apresentar variações acentuadas entre colmos de bambu de uma mesma espécie. Normalmente, a densidade básica dos colmos varia entre 0,500 a 0,800 g/cm³ para as diferentes espécies de bambu, dependendo principalmente do tamanho, quantidade e distribuição dos aglomerados de fibras ao redor dos feixes vasculares (PEREIRA, 2001).

Beraldo *et al* (2003) afirmam que essas variações na densidade básica dos colmos, como consequência das variações da estrutura anatômica, influem nas propriedades físicas e mecânicas dos colmos.

A densidade é uma característica importante para o projeto de estruturas de bambu, pois tem relação direta com o peso das peças e com as respectivas cargas atuantes nas estruturas. Neste ensaio buscou-se conhecer a densidade do bambu natural, saturado e seco em estufa.

A) Densidade natural

Para a realização deste ensaio foram preparados 24 corpos de prova, a partir da parte mediana de colmos de bambus maduros e secos ao ar, sendo 12 (doze) corpos de prova sem nós e 12 (doze) com nós. Os colmos foram serrados em serra elétrica e o comprimento dos corpos de prova foi dado pela equivalência (aproximada) ao diâmetro da peça, de acordo o Item B6.1 da NBR 7190 (ABNT, 1997).

A densidade natural foi dada pela Equação 4, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), onde a massa da amostra (M), em gramas, deve ser dividida pelo volume (V), em cm³.

$$\rho = \frac{M \text{ (g)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}} \quad \text{(Equação 4)}$$

As Tabelas 4.5 e 4.6 apresentam os resultados de densidade natural dos bambus *in natura*, realizados em corpos de prova com nós e sem nós.

Tabela 4.5 – Resultados da densidade natural dos bambus *in natura*, sem nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	4,92	3,67	4,38	38,19	31,3	0,82
2	4,49	3,38	4,37	29,95	35,8	1,19
3	3,81	2,85	4,24	21,30	23,4	1,09
4	3,39	2,53	3,86	15,42	20,8	1,35
5	3,29	1,31	4,44	31,72	24,8	0,78
6	3,55	1,87	4,32	30,86	24,6	0,79
7	3,44	1,70	4,17	29,26	23,3	0,79
8	3,74	2,53	4,44	26,46	25,1	0,94
9	3,33	1,28	4,37	32,42	24,3	0,75
10	3,78	2,53	4,34	26,88	26,4	0,98
11	3,94	2,26	4,32	34,81	26,1	0,75
12	4,26	2,75	4,26	35,90	32,6	0,91

Valores estatísticos

Densidade natural média = 0,93 g/cm³

Densidade natural característica = 0,80 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,19 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,19 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 19,94%

Tabela 4.6 - Resultados da densidade natural dos bambus *in natura*, com nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	3,00	1,28	4,39	26,29	21,3	0,81
2	3,77	2,78	4,51	22,94	19,1	0,83
3	3,38	2,19	4,24	22,06	18,4	0,83
4	2,90	1,36	4,30	22,17	19,5	0,87
5	3,01	2,01	4,13	16,27	17,5	1,07
6	3,55	2,49	4,36	21,90	18,7	0,85
7	3,33	2,14	4,26	21,77	18,5	0,84
8	3,62	2,41	4,32	24,75	19,3	0,78
9	3,53	2,48	4,29	21,04	18,4	0,87
10	3,39	1,98	4,26	25,31	19,2	0,76
11	3,48	2,31	4,28	22,77	18,7	0,82
12	3,26	2,00	4,36	22,65	19,2	0,84

Valores estatísticos

Densidade natural média = 0,85 g/cm³

Densidade natural característica = 0,85 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,089 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,07 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 8,72%

B) Densidade saturada

O bambu saturado é obtido por meio da imersão dos corpos de prova em recipiente com água, por no mínimo 24h, tendo sido preparado 12 (doze) com nós e 12 (doze) sem nós para esta avaliação. A densidade saturada (ρ_{sat}) é dada pela Equação 4, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), onde a massa saturada da amostra (M_{sat}), em gramas, deve ser dividida pelo volume saturado (V_{Sat}), em cm³.

$$\rho_{sat} = \frac{M_{sat} \text{ (g)}}{V_{sat} \text{ (cm}^3\text{)}} \quad \text{(Equação 4)}$$

A Figura 4.6 ilustra as etapas de desenvolvimento do ensaio de densidade saturada. Pode-se observar, inicialmente, a conferência das medidas do comprimento e do diâmetro interno das amostras, com o auxílio de um paquímetro manual. Após a aferição das medidas, os corpos de prova foram submersos em um recipiente com água, para a saturação dos bambus. Depois de 24 horas imersas em água, as amostras ficaram na posição vertical para escoar a água e, posteriormente, procedeu-se a pesagem das amostras umedecidas em balança eletrônica de precisão, da marca BEL Engineering, modelo Mark 5.000, com 0,1g de precisão.



Figura 4.6: Imagens do processo de medida da densidade saturada dos bambus *in natura*.

a	
b	c
d	

a: Conferência do comprimento da amostra com paquímetro

b: Conferência do diâmetro interno com paquímetro

c: Imersão das amostras em água para saturação

d: Pesagem das amostras em balança eletrônica de precisão

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 apresentam-se os resultados da densidade dos bambus *in natura* saturados, feita com amostras com nós e sem nós. O ensaio foi realizado de acordo com as diretrizes da NBR 7190 (ABNT, 1997), Item B.6.

Tabela 4.7 - Resultados da densidade dos bambus *in natura* saturados sem nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	3,24	1,33	4,31	29,53	31,0	1,04
2	4,16	2,95	4,50	30,37	28,7	0,94
3	3,78	2,36	4,24	28,95	29,4	1,01
4	3,26	1,23	4,30	30,75	29,7	0,96
5	3,67	2,10	4,16	29,59	27,9	0,94
6	3,94	2,58	4,35	30,29	29,7	0,98
7	3,63	2,22	4,24	27,46	29,3	1,06
8	3,94	2,66	4,37	28,99	29,6	1,02
9	3,92	2,63	4,29	28,11	29,7	1,05
10	3,66	2,04	4,27	30,96	29,8	0,96
11	3,79	2,35	4,30	29,85	29,5	0,98
12	3,65	2,10	4,35	30,44	31,5	1,03

Valores estatísticos

Densidade saturada média = 1,00 g/cm³

Densidade saturada característica = 1,02 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,04 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,04 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 4,12%

Tabela 4.8 – Resultados da densidade dos bambus *in natura* saturados com nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	5,10	3,57	4,28	44,59	57,6	1,29
2	4,50	2,84	4,36	41,72	54,4	1,30
3	3,94	2,33	4,23	33,53	39,8	1,18
4	3,42	2,07	3,87	22,52	32,1	1,42
5	3,40	1,29	4,40	34,19	38,8	1,13
6	3,75	1,78	4,22	36,10	40,9	1,13
7	3,57	1,38	4,17	35,50	38,7	1,09
8	4,02	2,79	4,51	29,67	43,5	1,46
9	3,54	1,30	4,33	36,86	41,0	1,11
10	4,00	2,16	4,34	38,63	46,4	1,20
11	4,00	2,31	4,28	35,84	43,5	1,21
12	4,57	2,85	4,34	43,50	52,5	1,20

Valores estatísticos

Densidade saturada média = 1,23 g/cm³

Densidade saturada característica = 1,16 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,12g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,11 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 9,30%

Conforme era esperado, a densidade saturada característica dos bambus *in natura* com nós (1,16 g/cm³) é superior a dos bambus sem nós (1,02 g/cm³). Isto se deve a maior capacidade dos vasos presentes nos nós de absorver a água.

C) Densidade dos bambus secos em estufa

Para a avaliação da densidade dos bambus secos em estufa (ρ_s), as amostras receberam calor estabilizado de 100°C em Estufa de Esterilização Universal, Modelo 219, marca Fabbe-Priman, durante o período de 24h, de acordo com a especificação do Item B.6, da

NBR 7190 (ABNT, 1997). A densidade do bambu no estado seco é dada pela Equação 4, onde a massa seca constante (M_s) é dividida pelo volume seco (V_s) da amostra.

$$\rho_s = \frac{M_s \text{ (g)}}{V_s \text{ (cm}^3\text{)}} \quad \text{(Equação 4)}$$

A Figura 4.7 (a) e (b) apresentam, respectivamente, as amostras utilizadas nas avaliações de densidade dos bambus secos em estufa, sem nós e com nós. Na sequência, as Tabelas 4.9 e 4.10, apresentam os resultados obtidos nos ensaios.



Figura 4.7: Amostras utilizadas para a avaliação da densidade dos bambus *in natura*, secas em estufa, divididas em grupos sem nós (a) e com nós (b).

Tabela 4.9 – Resultados da densidade dos bambus *in natura* secos em estufa, sem nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade seca (g/cm ³)
1	2,49	0,58	4,31	19,84	19,0	0,95
2	3,36	2,80	4,50	12,19	18,0	1,47
3	3,40	2,27	4,24	21,33	17,7	0,83
4	2,98	1,35	4,30	23,83	18,3	0,76
5	3,17	2,00	4,16	19,76	16,4	0,83
6	3,50	2,52	4,35	20,15	17,2	0,85
7	3,20	2,10	4,24	19,41	17,4	0,89
8	3,49	2,42	4,37	21,70	17,3	0,79
9	3,54	2,42	4,29	22,49	17,4	0,77
10	3,21	1,93	4,27	22,06	18,3	0,83
11	3,40	2,20	4,30	22,69	17,4	0,76
12	3,20	1,88	4,35	22,90	18,0	0,78

Valores estatísticos

Densidade seca média = 0,88 g/cm³

Densidade seca característica = 0,78 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,20 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,19 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 21,37%

Tabela 4.10 – Resultados da densidade dos bambus *in natura* secos em estufa, com nós.

C.P.	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Comprimento (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade seca (g/cm ³)
1	4,90	3,21	4,28	46,07	32,9	0,71
2	4,33	2,43	4,36	43,98	33,5	0,76
3	3,69	1,82	4,23	34,23	22,0	0,64
4	3,44	2,53	3,87	16,51	19,5	1,18
5	3,23	1,23	4,40	30,82	23,2	0,75
6	3,67	1,70	4,22	35,06	23,0	0,65
7	3,40	1,66	4,17	28,83	21,9	0,75
8	3,96	2,74	4,51	28,95	23,5	0,81
9	3,35	1,16	4,33	33,58	22,9	0,68
10	3,74	2,16	4,34	31,77	24,7	0,77
11	3,80	2,30	4,28	30,75	23,5	0,76
12	4,24	3,28	4,34	24,60	30,4	1,23

Valores estatísticos

Densidade seca média = 0,81 g/cm³

Densidade seca característica = 0,68 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,19 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,18 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 22,85%

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 4.9 e 4.10, a densidade seca característica dos bambus *in natura* sem nós (0,80g/cm³) é superior a dos bambus com nós (0,68g/cm³). Observou-se que a densidade dos bambus com nós geralmente é maior quando naturais ou saturados, devido à porosidade dos seus tecidos estarem úmidas. No entanto, após a secagem em estufa a densidade diminui, comprovando que, com os poros secos, diminui-se a densidade da amostra.

4.1.4 Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras

O uso de um determinado material na construção está condicionado a questões como durabilidade e capacidade de suportar as solicitações impostas durante a vida útil da obra. Assim, torna-se fundamental o estudo das propriedades mecânicas dos bambus,

ressaltando que estas são diretamente influenciadas pela espécie, idade de corte e umidade em sua composição, dentre outros fatores.

De acordo com Ghavami e Marinho (2001), a resistência do bambu à compressão normal às fibras é 30% menor que a resistência à tração, apresentando valores que variam entre 20 e 120 MPa. Comparando-se os ensaios de resistência à compressão normal às fibras dos bambus com materiais como a madeira e o concreto, observa-se que o bambu pode ser utilizado como elemento estrutural em substituição ou composição com estes materiais.

A resistência à compressão é uma importante característica a ser considerada no desenvolvimento de projetos estruturais de bambu, pois através dos dados obtidos é possível estabelecer a capacidade resistente das estruturas de bambu. Porém, de acordo com Gonçalves (1994), não basta realizar uma análise do limite de resistência à compressão do material, sendo também necessário considerar o tamanho e a geometria da peça.

Foram preparados vinte e quatro (24) corpos-de-prova, feitos da parte mediana de colmos *in natura* de bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, sendo que 12 (doze) corpos de prova tinham os nós e outros 12 (doze) corpos de prova não os continham. Quanto ao comprimento dos corpos de prova, este foi dado pela medida de duas vezes o diâmetro ($h = \varnothing \times 2$), de acordo o Item B.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Como serão empregadas peças com aproximadamente 4 cm de diâmetro, a altura dos corpos de prova serão de aproximadamente 8 cm. Estas medidas podem sofrer variações, pois as peças de bambu não possuem uma padronização exata em seus diâmetros (ligeiramente ovalados). A Figura 4.8 apresenta em detalhe um dos corpos de prova com nó utilizado para os ensaios de compressão paralela às fibras. A Figura 4.9 (a) e (b) ilustra os grupos de corpos de prova de bambu, separados por amostras com nós e sem nós.



Figura 4.8: Detalhe de um corpo de prova de bambu *in natura*, utilizado para ensaio de compressão paralela às fibras.



(a)



(b)

Figura 4.9 (a) e (b): Corpos de prova de bambu preparados para ensaio de compressão paralela às fibras, com nós (a) e sem nós (b).

A carga foi aplicada em Máquina Universal de Ensaio DL (Digital Line), da marca EMIC, com capacidade máxima de 30.000 Kg/F, do Laboratório de Materiais de Construção da PUC-Goiás, como ilustra a Figura 4.10. Nas Figuras 4.11 e 4.12, apresentam-se os corpos de prova de bambu sem nós e com nós, respectivamente, após o ensaio realizado.



Figura 4.10: Corpo de prova de bambu posicionado na prensa para avaliação da resistência à compressão paralela às fibras.



Figura 4.11: Corpos-de-prova de bambu sem nós, após o ensaio de compressão.



Figura 4.12: Corpos-de-prova de bambu com nós, após o ensaio de compressão.

A resistência à compressão paralela às fibras (f_c) foi obtida pela Equação 5. Os resultados obtidos nos ensaios de compressão, em corpos de prova de bambus *in natura*, podem ser observados nas Tabelas 4.11 e 4.12.

$$f_c = \frac{\text{carga (N)}}{\text{área (mm}^2\text{)}} \quad (\text{Equação 5})$$

Tabela 4.11 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus *in natura*, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	31,20	14,16	606,75	27,80	50.187,36	82,71
2	38,58	29,85	468,94	24,44	41.248,24	87,96
3	35,28	24,46	507,40	25,42	41.438,64	81,66
4	30,92	14,76	579,47	27,16	48.553,87	83,79
5	34,08	23,11	492,48	25,04	45.036,34	91,44
6	37,88	26,64	585,88	27,31	44.926,11	76,68
7	34,98	22,26	571,55	26,98	46.689,88	81,68
8	37,00	27,36	487,03	24,90	38.632,64	79,32
9	36,83	25,82	541,46	26,22	37.019,19	68,36
10	34,33	23,19	502,99	25,31	41.829,48	83,16
11	36,40	23,44	608,78	27,84	42.009,87	69,00
12	34,15	22,04	534,15	26,08	41.338,43	77,39

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 80,26 MPa

Resistência à compressão característica = 73,30 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 6,78 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 6,49 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 8,09%

Tabela 4.12 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus *in natura*, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	41,13	25,45	819,52	32,31	70.971,82	86,60
2	33,11	17,63	616,58	28,02	37.911,1	62,02
3	39,15	22,56	803,65	31,99	51.520,21	64,10
4	37,75	25,90	592,08	27,46	51.009,12	86,15
5	43,83	33,48	628,11	28,28	47.210,99	75,16
6	41,34	29,83	643,04	28,62	39.875,30	62,01
7	40,48	23,64	847,63	32,86	71.683,34	84,56
8	43,77	28,14	882,3	33,52	75.992,56	86,13
9	39,10	30,61	464,59	24,32	32.890,36	70,79
10	36,09	25,11	527,49	25,92	43.873,86	75,18
11	38,00	25,47	509,24	25,47	49.125,09	96,46
12	35,52	25,64	474,35	24,58	42.551,02	89,70

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 78,24 MPa

Resistência à compressão característica = 64,29 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 11,67 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 11,18 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 14,28%

Comparando-se os resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus *in natura* sem nós com os bambus *in natura* com nós, nota-se que a resistência característica dos bambus sem nós foi maior que a dos bambus com nós. Isto ocorre devido, principalmente, ao encurtamento e distorção das fibras na região nodal, o que contribui para a diminuição da resistência à compressão paralela às fibras.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão paralela às fibras dos *in natura*, serão discutidos e comparados com os resultados obtidos em ensaios de mesma natureza,

realizados em bambus inseridos em matriz cimentícia e em bambus envelhecidos de forma natural e acelerada. Esta análise será apresentada na Parte III – Análise dos Resultados, no Item 5.3.2 desta pesquisa.

4.1.5 Ensaio de resistência à flexão perpendicular às fibras

Para a análise estrutural de estruturas de bambu, o comportamento à flexão dos colmos é importante, uma vez que as peças podem ser solicitadas à flexão ou empregadas como pilares solicitados à compressão excêntrica, o que levaria à flambagem.

De acordo com Ghavami *et al* (2003), os resultados observados na literatura disponível situam a resistência do bambu à flexão entre 30 MPa e 170 MPa.

Para os ensaios de flexão perpendicular às fibras, foram preparados vinte e quatro (24) corpos de prova retirados da parte mediana dos colmos, sendo que 12 (doze) tinham nó no local da aplicação da carga, e os outros 12 (doze) não continham nó no local de aplicação da carga.

Quanto ao comprimento das peças, adotou-se a medida de 88 centímetros de comprimento, com base nas diretrizes da NBR 7190 (ABNT,1997), Item B.14, que prevê que o comprimento deve ser 23 vezes a medida do diâmetro do corpo de prova. Como o bambu possui forma anelar, adotou-se como equivalente à altura do corpo de prova, o diâmetro externo (D_e) médio das peças de bambu ensaiadas, com, aproximadamente, 3,80cm.

Portanto, multiplicando-se 23 x 3,80cm, tem-se, aproximadamente, um corpo de prova de 88 centímetros de comprimento. De acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997), os apoios são colocados a uma distância igual à altura do corpo de prova. No presente caso, como o diâmetro externo está equivalendo à altura do corpo de prova, os apoios foram colocados a 3,80 cm de cada extremidade. Tem-se, assim, que a distância entre os apoios é de, aproximadamente, 80,40 centímetros.

Nas Tabelas 4.13 e 4.14, que apresentam os resultados dos ensaios de resistência à flexão perpendicular às fibras, empregou-se a letra K , deduzida da fórmula das propriedades de seções planas de coroa circular submetidas à ensaio de flexão (Hudson, 1961), obtendo-se a Equação 6. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da PUC/GO, Máquina Universal de Ensaio DL (Digital Line), da marca EMIC, com

capacidade máxima de 30.000 Kg/F, do Laboratório de Materiais de Construção da PUC-Goiás.

$$K = \frac{2,547 \times L \times D}{De^4 - Di^4} \quad (\text{Equação 6})$$

A Figura 4.13 mostra alguns dos colmos de bambus utilizados como corpos-de-prova, nos ensaios de flexão perpendicular às fibras, podendo-se observar as amostras sem o nó na parte central da peça (a) e as amostras com o nó na parte central peça (b). Pode-se observar, ainda, o momento de realização do ensaio.



Figura 4.13: Corpos de prova de bambus naturais, utilizados no ensaio de flexão perpendicular às fibras.

a	b
c	d

- a:** Colmos de bambu sem nós na parte central dos corpos de prova
- b:** Colmos de bambu com nós na parte central dos corpos de prova
- c:** Ensaio de flexão nos colmos de bambu
- d:** Momento de ruptura dos colmos de bambu durante ensaio de flexão

Os resultados dos ensaios de resistência à flexão nos colmos de bambu *in natura* sem nós e com nós encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 4.13 e 4.14.

Tabela 4.13 - Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu *in natura* sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Vão (L) (mm)	K (mm ²)	Carga (N)	Resistência à flexão (F)(MPa) (carga x K)
1	38,69	27,89	840	0,05060	1.773,79	89,76
2	35,40	23,28	840	0,05932	1.655,68	98,21
3	44,90	27,19	840	0,02730	3.271,28	89,30
4	45,08	36,44	840	0,04075	3.209,00	130,76
5	32,43	19,98	840	0,08722	1.531,14	133,54
6	39,86	31,06	840	0,0535	1.723,29	92,21
7	46,77	32,86	840	0,02764	2.876,15	79,52
8	41,07	25,66	840	0,03643	2.358,33	85,91
9	39,32	25,38	840	0,04258	2.164,63	92,18
10	44,82	34,19	840	0,03592	3.236,92	116,29
11	42,71	30,98	840	0,03797	3.497,48	132,81
12	31,95	24,35	840	0,09907	1.192,55	118,05

Valores estatísticos

Resistência à flexão média = 104,88 MPa

Resistência à flexão característica = 90,70 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 20,04 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 19,18 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 18,29%

Tabela 4.14 – Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu *in natura* com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Vão (L) (mm)	K (mm ²)	Carga (N)	Resistência à flexão (F)(MPa) (carga x K)
1	32,54	20,33	840	0,07325	1.693,62	124,06
2	47,01	26,67	840	0,0229	4.449,52	102,22
3	30,54	20,27	840	0,09320	1.163,49	108,43
4	36,09	23,82	840	0,05617	2.024,33	113,71
5	48,24	38,71	840	0,03255	2.154,61	70,12
6	45,95	34,06	840	0,03158	2.585,53	81,67
7	34,11	23,18	840	0,06852	1.252,68	85,83
8	32,12	24,41	840	0,09687	1.102,36	106,79
9	31,93	24,46	840	0,10024	831,78	83,38
10	35,85	27,67	840	0,07197	1.254,39	90,27
11	39,57	28,22	840	0,04658	1.974,22	91,96
12	42,63	31,01	840	0,04166	1.632,64	68,01

Valores estatísticos

Resistência à flexão média = 93,87 MPa

Resistência à flexão característica = 70,00 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 17,39 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 16,65 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 17,74%

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBU ARGAMASSADOS NÃO SUBMETIDOS A PROCESSOS DE ENVELHECIMENTO

Para a realização deste ensaio foi produzido um painel de bambu de dimensões reduzidas (testemunho), com medida de 0,60cm x 0,60cm x 0,07cm, chamado de painel nº 0 ou painel de referência. A estrutura de bambu deste painel foi mineralizada e argamassada, assim como os demais painéis produzidos para os ensaios de envelhecimento natural e de envelhecimento acelerado. No entanto, o painel de referência não passou por processo de envelhecimento. Este painel foi avaliado nos seguintes aspectos:

- a) Caracterização visual da argamassa de revestimento aplicada sobre a estrutura de bambu, bem como dos bambus extraídos deste painel;
- b) Avaliação da resistência à compressão paralela às fibras dos bambus extraídos do painel;
- c) Avaliação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento ao painel de bambu.

Os resultados obtidos serão comparados com os resultados encontrados nos painéis envelhecidos naturalmente e aceleradamente. Desta forma, os resultados obtidos nos painéis não envelhecidos assumiram o papel de valores referenciais na avaliação parcial do desempenho do elemento construtivo.

4.2.1 Caracterização visual

Neste item, apresentam-se os resultados obtidos na avaliação visual dos painéis de bambu mineralizados e argamassados, que não foram submetidos aos ensaios de envelhecimento.

A avaliação visual tem como objetivo identificar modificações da aparência do bambu e da argamassa de revestimento, servindo como referência no momento da comparação do aspecto visual do painel nº 0, não envelhecido, com os demais painéis que sofreram processo de envelhecimento.

A mudança de coloração, a presença de machas esbranquiçadas e marrons, o aparecimento de fissuras, o aumento da abertura das fissuras ou mesmo o descolamento da argamassa de revestimento denotam a diminuição do desempenho dos painéis nos

requisitos ligados à aparência visual, à salubridade, ao conforto, à resistência estrutural e segurança do usuário.

A avaliação visual dos bambus é um fator importante para a pesquisa, pois pode identificar processos de degradação associados à diminuição das propriedades físicas e mecânicas do bambu e da aderência da argamassa de revestimento com as peças de bambu que estruturam o painel.

A) Avaliação visual da argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento foi aplicada pelo método tradicional. O acabamento foi realizado com uma desempenadeira de madeira. O procedimento de aplicação da argamassa de revestimento nos painéis de bambu foi descrito de maneira mais detalhada no Capítulo 3, Item 3.2.

Após o endurecimento da argamassa, obteve-se uma superfície rugosa, de coloração cinza clara e isenta de fissuras, como ilustra a Figura 4.14.



Figura 4.14: Aspecto visual da argamassa de revestimento aplicada ao painel não submetido a processos de envelhecimento.

No entanto, no que se refere às técnicas construtivas aplicadas, é importante salientar dois aspectos: a ocorrência de um afastamento de, aproximadamente, 0,3 mm entre a estrutura externa de bambu (moldura) e a argamassa de revestimento, devido à retração da argamassa; e a marca na superfície da argamassa de revestimento deixada pelo arame de travamento da estrutura de bambu. Estes defeitos construtivos deverão ser alvo de melhorias em uma futura produção de painéis para construções econômicas. Os defeitos construtivos citados são mostrados e indicados por setas na Figura 4.15 (a) e (b).

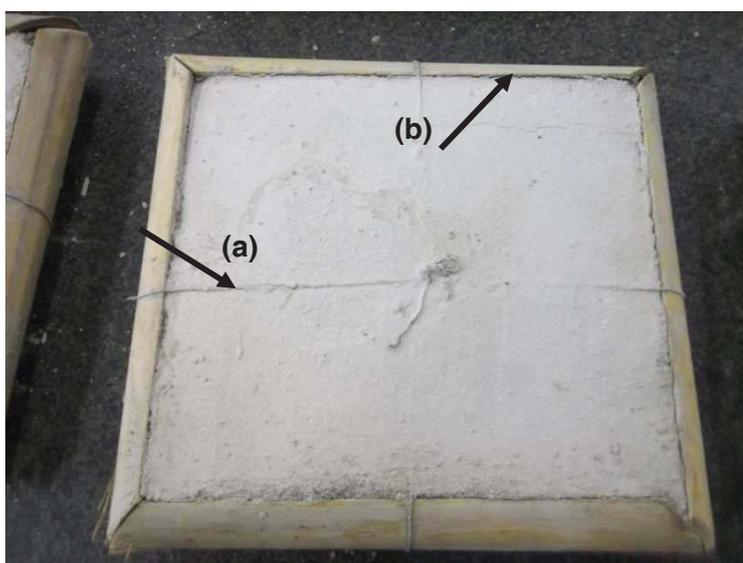


Figura 4.15: A seta (a) mostra a marca na argamassa de revestimento deixada pelo arame de travamento do painel; e a seta (b), mostra o afastamento entre a estrutura externa de bambu e a argamassa de revestimento.

B) Avaliação visual dos bambus

Neste item, caracterizou-se a aparência visual dos bambus secos ao ar e mineralizados, que permaneceram durante 60 dias na argamassa de revestimento do painel e não foram submetidos a nenhum tipo de processo de envelhecimento.

As amostras de bambu foram coletadas após a quebra cuidadosa da argamassa de revestimento dos painéis, com o uso de um martelo, como mostra a Figura 4.16.



Figura 4.16: Momento da remoção da argamassa de revestimento para retirada dos bambus do interior do painel.

A avaliação visual dos bambus foi desenvolvida de maneira simplificada, por meio da observação a olho nu das amostras selecionadas.

Na Figura 4.17 (a) e (b), é possível observar a coloração da superfície externa dos bambus utilizados como amostras. Identificaram-se manchas esbranquiçadas resultantes do processo de mineralização. Em sua superfície externa não foi observada a presença de fungos ou mofo, nem a presença de fissuras ou rachaduras. Não foram observadas significativas alterações visuais nestas amostras de bambus, mantendo-se, aparentemente, o mesmo diâmetro que tinham no início do ensaio, não apresentando, portanto, aparente perda de seção.



Figura 4.17 (a) e (b): Aparência dos bambus mineralizados, retirados do interior dos painéis não envelhecidos.

4.2.2 Ensaio de resistência de aderência da argamassa

Um dos principais requisitos que o painel de bambu proposto deve atender é o de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento sobre o painel de bambu. Para avaliar este requisito empregou-se a metodologia preconizada pela NBR 13.528 (ABNT, 1995), para determinar a resistência de aderência à tração e avaliar a forma de ruptura.

De acordo com Saraiva *et al* (2010), existem duas normas brasileiras básicas que referenciam a resistência de aderência, a NBR 13.528 (ABNT, 2010), recém revisada, que define o método de ensaio da resistência de aderência à tração para revestimentos de paredes e tetos; e a NBR 13.749 (ABNT, 1995) que determina as especificações necessárias aos revestimentos, incluindo a Tabela 4.15, que determina os limites mínimos de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única.

Tabela 4.15 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única.

Local	Acabamento	Ra (em Mpa)	
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
Teto		≥ 0,20	

Fonte: NBR 13.749 (ABNT, 1995)

Neste item, apresentam-se os resultados de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento ao painel de bambu que não foi submetido a processos de envelhecimento.

A resistência de aderência da argamassa também foi medida nos painéis envelhecidos de forma natural (Item 4.3.6) e nos painéis envelhecidos de forma acelerada (Item 4.4.5). Todos

os resultados foram relacionados e serão discutidos no Capítulo 5 (Item 5.3.4), que trata da análise dos resultados obtidos nos ensaios de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento dos painéis de bambu estudados.

A Figura 4.18 mostra o esquema do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento aplicado aos painéis de bambu não submetidos aos processos de envelhecimento, repetindo-se o mesmo procedimento para os painéis de bambu envelhecidos de maneira natural e acelerada.

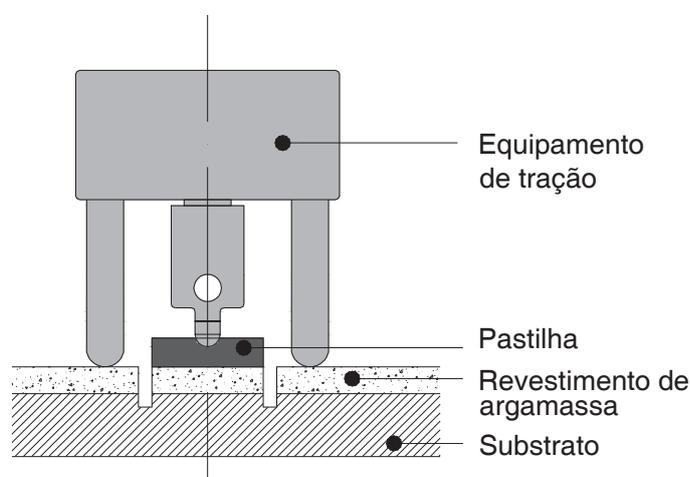


Figura 4.18: Esquema do ensaio de resistência de aderência à tração realizado nos painéis de bambu (ABNT, 2010).

As formas de ruptura obtidas nos ensaios foram comparadas com as contidas na NBR 13.528 (ABNT, 2010), as quais são apresentadas na Figura 4.19. De acordo com a Figura 4.19, a ruptura identificada com a letra (a) representa a ruptura na interface entre a argamassa e o substrato; a letra (b) representa a ruptura no substrato; a letra (c) representa a ruptura entre o adesivo e a argamassa; a letra (d) representa a ruptura na argamassa; e a letra (e) representa a ruptura entre a pastilha e o adesivo.

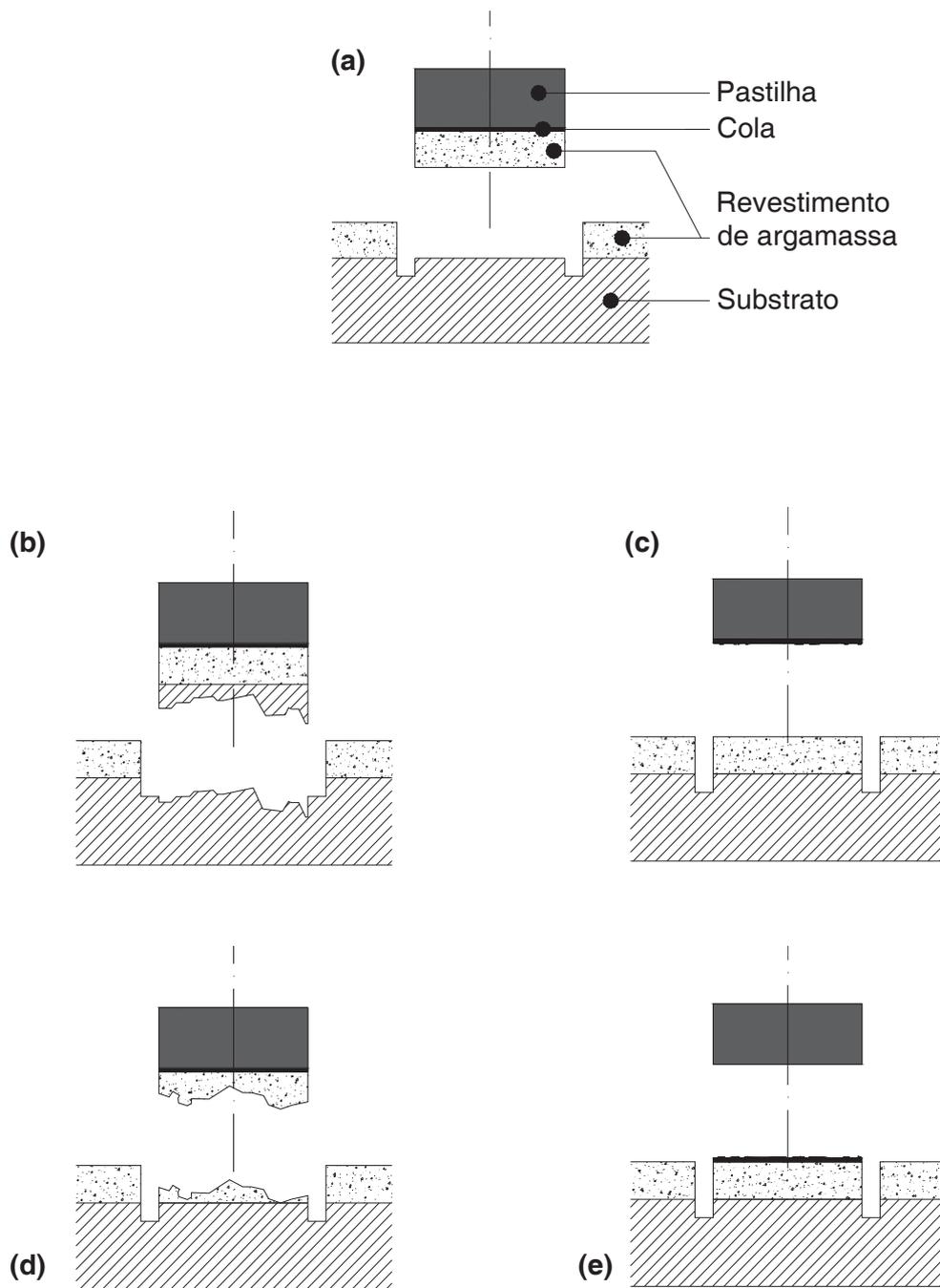


Figura 4.19: Possíveis formas de ruptura encontradas no ensaio de determinação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento, de acordo com a NBR 13.528 (ABNT,2010).

O equipamento utilizado para aplicar a carga de tração nos ensaios de resistência de aderência à tração da argamassa foi o DYNA PROCEQ – *pull of tester* Z-16, sendo que todos os ensaios foram desenvolvidos no Laboratório de Materiais de Construção da EEC/UFG. Na Figura 4.20 é possível observar o equipamento posicionado no painel de

bambu não submetido a processos de envelhecimento (painel de referência), no momento de aplicação da carga.



Figura 4.20: Equipamento DYNA PROCEQ, utilizado no ensaio de resistência de aderência da argamassa de revestimento.

Conforme determina a Norma NBR 13.528 (ABNT, 2010), a pastilha metálica é colada em uma região da superfície revestida com argamassa, para a realização do ensaio. Para a colagem das pastilhas utilizou-se um adesivo estrutural epoxídico de média fluidez, específico para promover a aderência entre a peça metálica e a argamassa. Devido à pequena dimensão dos painéis (60cm x 60cm x 6cm), utilizou-se apenas 4 (quatro) pastilhas em cada painel, os quais foram posicionadas a, no máximo, 15 cm de distância uma da outra.

Na Figura 4.21 é possível observar os procedimentos de colagem das pastilhas metálicas no painel de bambu argamassado.



Figura 4.21: Etapa preliminar à realização do ensaio de aderência da argamassa: colagem das pastilhas metálicas nos painéis de bambu.

a	b
c	d

- a: Adesivo epoxídico utilizado para colar as pastilhas metálicas na argamassa
- b: Aplicação da cola na pastilha
- c: Colagem das pastilhas metálicas
- d: Painel de bambu pronto para o ensaio de aderência da argamassa

Após a colagem das pastilhas, deve-se aguardar o período mínimo de 24 horas, afim de que a cola fique seca e bem aderida à argamassa de revestimento. Depois da secagem da cola, os corpos de prova encontram-se prontos para o início do ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento aos painéis de bambu.

A Figura 4.22 (a) e (b) apresenta o painel de bambu após a realização do ensaio, evidenciando as pastilhas metálicas já arrancadas, com parte da argamassa de revestimento aderida a elas.

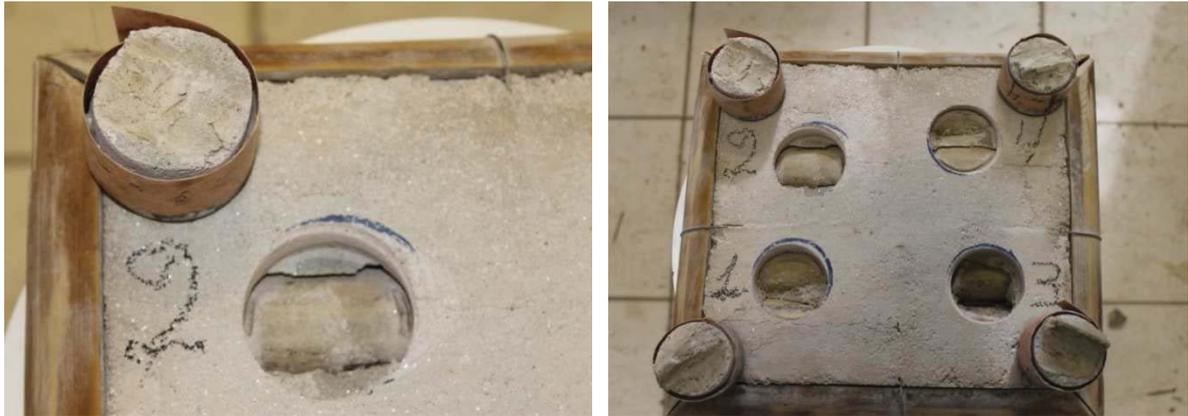


Figura 4.22 (a) e (b): Visualização das pastilhas metálicas após o ensaio de aderência à tração da argamassa.

Observou-se, após o ensaio de aderência, que a espessura da argamassa sobre as varas de bambu do painel, apresentou-se homogênea, com 2,5 cm de espessura de revestimento aderido às pastilhas utilizada, conforme a Figura 4.23 apresenta o momento da aferição da espessura da argamassa de revestimento sobre os bambus, com o uso de régua metálica.



Figura 4.23: Medição da argamassa de revestimento, com régua metálica, sobre a vara de bambu.

A NBR 13.528 (ABNT, 2010) estabelece como limite mínimo de resistência de aderência à tração, para revestimentos externos de camada única, o valor de 0,3 MPa. Os resultados indicam que a interface entre o bambu e a argamassa foi a região limitadora das resistências de aderência obtidas. No entanto, a tensão de ruptura média foi superior ao critério de aceitação preconizada pela Norma NBR 13.528 (ABNT, 2010). Acredita-se que o mecanismo de aderência tenha sido beneficiado pela mineralização das peças de bambu, pelo chapisco aplicado na superfície de bambu, antes do lançamento da argamassa de

revestimento, e pela adição de polímero acrílico na água de amassamento da argamassa de revestimento do painel.

Os valores obtidos no ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento do painel de referência, ou de nº 0, caracterizado por utilizar bambus secos ao ar, mineralizados e não submetidos aos processos de envelhecimento, são apresentados na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Resultados de resistência de aderência à tração da argamassa no painel de bambu não submetido aos processos de envelhecimento (painel nº 0).

Painel	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura	Espessura de argamassa sobre o Bambu (mm)	Tensão de ruptura média (MPa)
	0,34		25	
0	0,32	100% na interface entre substrato e argamassa	25	0,32
	0,38		25	
	0,27		24	

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBU ARGAMASSADOS ENVELHECIDOS NATURALMENTE

No decorrer da Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006), foram produzidos seis painéis de bambu, propostos como componentes construtivos para habitações econômicas (Figura 4.24). As dimensões dos painéis eram de 1,00m x 1,00m x 0,6m. Os colmos utilizados para a produção dos painéis eram da espécie *Bambusa tuldoides* e foram secos ao ar por 60 dias. Após a secagem natural, foram submetidos ao processo de Mineralização (para imunização dos colmos de bambu) e à aplicação de chapisco e argamassa de revestimento. O principal foco da Dissertação era avaliar a aderência da argamassa de revestimento aos painéis de bambu, além da própria proposição da tipologia do painel.

Os procedimentos construtivos e os materiais empregados na execução dos painéis de bambu produzidos para os ensaios de envelhecimento natural foram descritos no Item 3.1 da Tese, no Capítulo 3. Vale ressaltar que os procedimentos construtivos e os materiais

empregados foram os mesmos adotados na produção dos painéis de bambu para ensaios de envelhecimento acelerado, apresentado no Item 3.2, o que valida às comparações e correlações discutidas na presente Tese.



Figura 4.24: Aspecto visual inicial do painel de bambu argamassado, executado no ano de 2005.

Os seis painéis foram colocados na área externa do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Goiás (UFG), em área descoberta e sobre piso cimentado, submetido à ação prolongada das intempéries, durante seis anos. Neste período, ficaram expostos aos agentes de degradação natural, como chuva, sol, vento e poluição. Estas medidas foram tomadas visando à obtenção de resultados para análises futuras, relativas à durabilidade e desempenho dos painéis, incluindo-se nestas avaliações o registro das alterações visuais da argamassa de revestimento e da superfície dos bambus; a medida da umidade e da densidade dos bambus inseridos e em equilíbrio com a umidade da argamassa; a medida das resistências à compressão paralela às fibras e à flexão perpendicular às fibras, bem como as avaliações relativas à aderência à tração da argamassa de revestimento.

A caracterização dos painéis envelhecidos de forma natural, bem como os bambus dele extraídos, foi feita através de avaliações visuais e de ensaios laboratoriais normalizados,

sendo que a metodologia experimental adotada visou investigar a durabilidade e o desempenho destes painéis de bambu, mineralizados e argamassados.

O referido painel de bambu foi caracterizado pelo seu aspecto visual (4.3.1); pela sua umidade nas condições de equilíbrio com a argamassa de revestimento (4.3.2); pela sua densidade seca em estufa (4.3.3); pela resistência à compressão paralela às fibras (4.3.4); pela resistência à flexão perpendicular às fibras (4.3.5); e pela resistência de aderência da argamassa sobre as varas de bambu que estruturam o painel (4.3.6).

4.3.1 Caracterização visual

Neste item, apresentam-se os resultados obtidos na avaliação visual dos painéis de bambu mineralizados e argamassados, que foram submetidos ao processo de envelhecimento natural, pelo período de seis anos.

A) Avaliação visual da argamassa de revestimento

Com relação à argamassa de revestimento das duas faces do painel, observou-se a presença de fissuras de espessuras variadas, entre 0,1mm e 0,8mm, como ilustram as Figuras 4.25 e 4.26. Nas regiões com fissuras de aberturas, superiores a 0,5mm, observou-se que pequenas placas da argamassa apresentavam-se separadas das varas de bambu, podendo ser removidas com as mãos. Esta pode ser uma das razões para obtenção de um dos valores de resistência de aderência da argamassa inferior a 0,3 MPa. A Tabela 4.25, do Item 4.3.6, mostra que na peça / região 8, registrou-se uma resistência de aderência de 0,23 MPa.



Figura 4.25: Aspecto visual do painel de bambu, após o processo de exposição prolongada aos agentes de degradação natural.



Figura 4.26: Detalhe de uma região fissurada do painel, com pedaço de argamassa com deficiência de aderência à estrutura de bambu.

As fissuras possuem forma linear e ocorreram, principalmente, nos locais onde havia elementos capazes de restringir a movimentação ou assentamento plástico da argamassa, como por exemplo, onde se localizavam as travessas de bambu. Na Figura 4.27, pode-se observar através das setas, as regiões com fissuras lineares, onde, internamente, se localizavam as travessas de bambu. Nestas regiões, as fissuras surgem com espessuras maiores, em sentido linear, sobre toda a travessa de bambu, localizada no interior do painel.

A coloração da argamassa de revestimento não fissurada permaneceu a mesma, mantendo sua tonalidade de cor cinza clara, porém apresentando exposição do agregado miúdo

devido à lixiviação da pasta cimentícia, motivada pela água da chuva urbana, a qual é mais agressiva que a água da chuva do ambiente rural. Uma água mais agressiva, de pH mais baixo, possui um poder de lixiviação do hidróxido de cálcio da pasta cimentícia. Nas regiões fissuradas, devido ao contato mais prolongado da água e umidade, verificou-se uma coloração mais escura, podendo estar associada ao acúmulo de fuligem e crescimento de microorganismos.



Figura 4.27: As setas apontam o sentido linear das fissuras que ocorreram nos locais onde havia as travessas de bambu, internamente ao painel.

Quanto às molduras de bambu, feitas da espécie *Dendrocalamus giganteus*, observou-se a presença de rachaduras e descoloração, devido à sua exposição direta e prolongada à umidade (chuva) e ao sol. Sabe-se que o bambu deve permanecer longe da umidade direta e do sol intenso e, neste caso, os painéis tiveram uma exposição às intempéries por seis anos. Caso o painel estivesse inserido em uma construção, protegido por uma cobertura ou por um beiral, estas molduras, muito provavelmente, não apresentariam o mesmo grau de degradação observado nas Figuras 4.28 e 4.29.



Figura 4.28: Aspecto visual das molduras dos painéis de bambu, com degradação aparente.



Figura 4.29: Detalhe das molduras de bambu, com degradação aparente.

B) Avaliação visual dos bambus

Após a caracterização visual externa dos painéis de bambu (Item A), realizou-se a caracterização visual dos mesmos colmos de bambu inseridos no painel envelhecido naturalmente, por um período de seis anos.

Para a realização da avaliação visual dos bambus, houve a necessidade de se remover toda a argamassa de revestimento, de maneira cuidadosa, a fim de retirar as varas de bambus sob à argamassa de revestimento (Figura 4.30).



Figura 4.30: Painel com remoção parcial da argamassa de revestimento, podendo se ver o aspecto superficial.

No momento da remoção da argamassa, pôde-se notar que os colmos de bambu apresentavam boa aparência, havendo, em alguns momentos, a dificuldade de remoção da argamassa das varas (Figura 4.31 (a)). Esta avaliação empírica corrobora os valores de resistência de aderência da argamassa aos bambus obtidos e apresentados na Tabela 4.20.

Com relação à avaliação visual destes bambus, foram observados outros três importantes aspectos, que devem ser considerados. Primeiramente, notou-se que os colmos sofreram uma significativa perda de seção, sendo que o diâmetro inicial das varas era de 3,5cm (em média) e, após o envelhecimento natural, apresentaram diâmetro de 2,0cm (em média), como mostra a Figura 4.31 (c). A perda de seção dos colmos pode estar diretamente relacionada com a diminuição de sua resistência mecânica, como a resistência à compressão e à flexão, e influenciar na fissuração dos bambus e da argamassa de revestimento dos painéis.

A presença de rachaduras nos colmos de bambu também foram frequentemente observadas, conforme mostram as setas nas Figuras 4.31 (a, b, c e d).

Observou-se, finalmente, que em parte dos colmos de bambu, havia a provável presença de fungos, de coloração verde escura ou esbranquiçada, com ocorrência na superfície externa dos bambus (Figura 4.31 (b, d, e)).

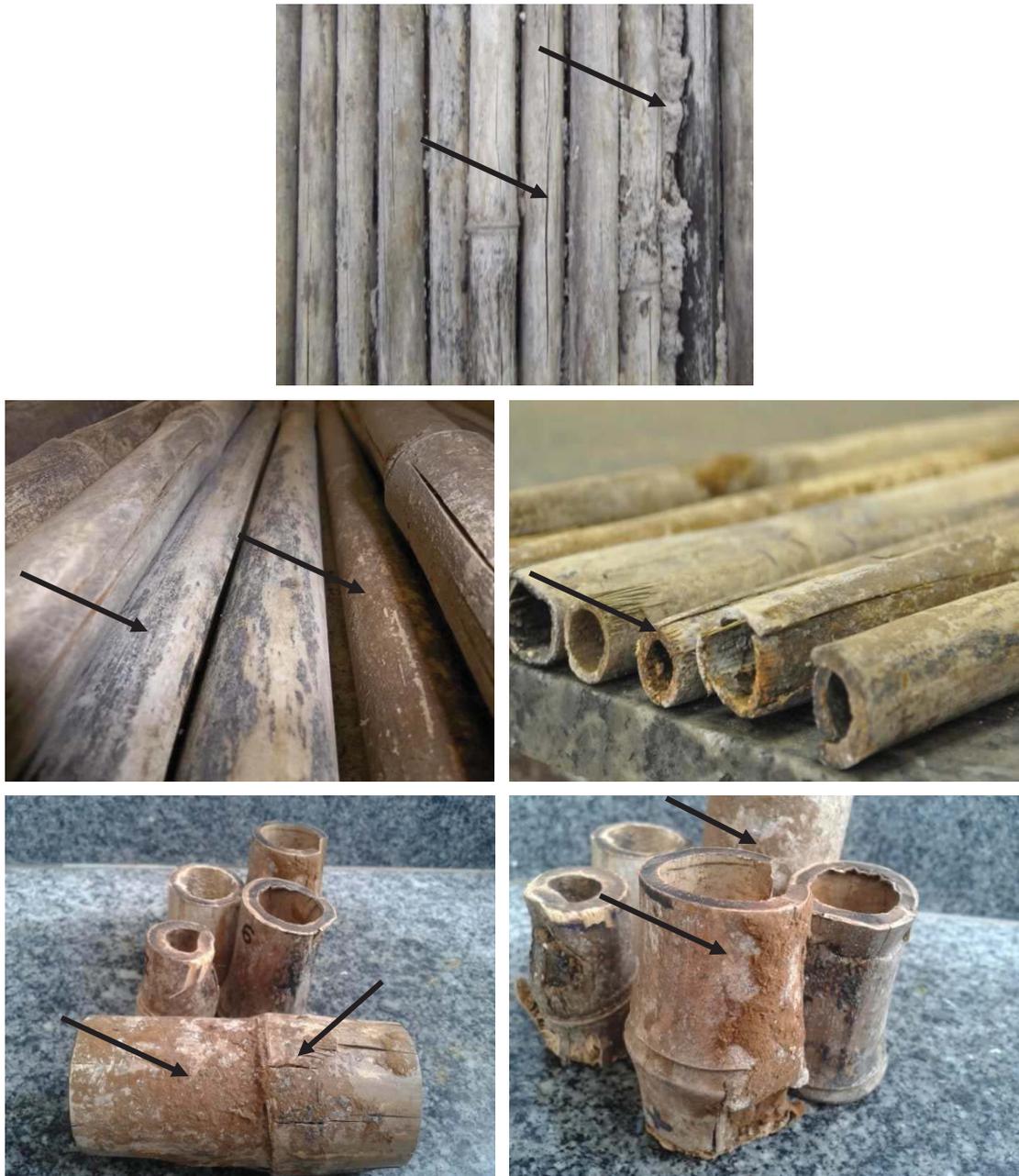


Figura 4.31: Aspecto visual dos colmos de bambu que permaneceram inseridos em matriz cimentícia e expostas ao intemperismo, durante seis anos.

- | | |
|----------|---|
| a | a: Fragmentos de argamassa aderidos na superfície externa e rachadura linear nos bambus. |
| b | b: Bambus com coloração marrom escura e mofo aderido na superfície. |
| c | c: Bambus com rachaduras, apresentando diminuição do diâmetro. |
| d | d: Presença de fungos esverdeados na face externa do bambu e rachaduras no nó. |
| e | e: Presença de fungos esbranquiçados na face externa dos bambus. |

4.3.2 Umidade dos bambus envelhecidos naturalmente

Os ensaios relativos à umidade dos bambus inseridos nos painéis envelhecidos de forma natural se deram a partir da preparação de corpos de prova, feitos dos colmos de bambu retirados do interior de um dos painéis. Os colmos foram serrados com o auxílio de serra elétrica, com o objetivo de obter corpos de prova, com medidas aproximadas de 2,0 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura, sendo que a altura foi adotada com base nas diretrizes do Item B.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram preparados no total 12 corpos de prova sem nó e 12 corpos de prova com nó. A Figura 4.32 apresenta alguns destes corpos de prova.



Figura 4.32: Corpos de prova feitos a partir de colmos de bambu envelhecidos naturalmente, sem nós.

A umidade obtida é a umidade do bambu em equilíbrio com a umidade da argamassa de revestimento, ou seja, com a umidade interna do painel.

Os corpos de prova foram pesados em balança eletrônica de precisão, da marca BEL Engineering, modelo Mark 5.000, com 0,1g de precisão, para obtenção de valores de massa inicial (M_i). Posteriormente, foram levados para a secagem em estufa, com temperatura de 100°C, para obtenção de valores de massa seca em estufa (M_s). Através da Equação 1, também utilizada no Item 4.1.2, obteve-se a umidade das peças de bambu nas condições de equilíbrio com a umidade da argamassa de revestimento.

$$U(\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100$$

(Equação 1)

Os procedimentos realizados na avaliação da umidade dos bambus podem ser observados na Figura 4.33 (a) e (b), e os resultados obtidos nas avaliações de umidade, com corpos de prova com nós e sem nós, são apresentados nas Tabelas 4.17 e 4.18.



(a)



(b)

Figuras 4.33: Processo de pesagem (a) e secagem (b) dos corpos de prova de bambu, envelhecidos naturalmente.

Tabela 4.17 – Resultados da avaliação de umidade dos bambus envelhecidos naturalmente, sem nós.

C.P.	Massa inicial (Mi)(g)	Massa seca estufa (Ms)(g)	Umidade (U) (%)
1	6,7	6,3	6,34
2	4,5	4,3	4,65
3	6,0	5,7	5,26
4	5,7	5,4	5,55
5	5,5	5,2	5,76
6	5,1	4,8	6,25
7	5,4	5,3	1,88
8	5,1	4,8	6,25
9	6,1	5,9	3,38
10	5,7	5,4	5,55
11	4,5	4,3	4,65
12	6,4	6,0	6,66

Valores estatísticos

Umidade média = 5,18% (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

Umidade característica = 2,6% (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 1,39 %

σ_n (desvio padrão da população) = 1,33 %

c.v. (coeficiente de variação) = 25,61%

Tabela 4.18 – Resultados da avaliação de umidade dos bambus envelhecidos naturalmente, com nós.

C.P.	Massa inicial (Mi)(g)	Massa seca estufa (Ms)(g)	Umidade (U) (%)
1	6,6	6,2	6,45
2	7,5	7,1	5,63
3	9,2	8,7	5,74
4	9,7	9,2	5,43
5	13,5	12,8	5,46
6	6,8	6,4	6,25
7	6,7	6,2	8,06
8	5,8	5,4	7,40
9	12,7	12,0	5,83
10	11,6	11,0	5,45
11	11,4	10,8	5,55
12	11,8	11,3	4,42

Valores estatísticos

Umidade média = 5,97% (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

Umidade característica = 5,3% (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,97%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,93%

c.v. (coeficiente de variação) = 15,52%

As menores umidades obtidas em relação às umidades médias dos bambus *in natura* sem e com nós (Tabelas 4.1 e 4.2), mostram que o bambu sofreu processo de secagem ao longo dos 6 anos de envelhecimento natural.

4.3.3 Densidade dos bambus envelhecidos naturalmente

Buscou-se, através do ensaio de densidade dos bambus envelhecidos naturalmente, avaliar as características relativas à massa específica dos corpos de prova e suas variações, em relação ao bambu *in natura*.

Para viabilizar a avaliação da densidade, preparou-se 12 corpos de prova com nós e 12 sem nós, a partir dos colmos de bambus envelhecidos de forma natural. A densidade foi dada pela Equação 4, também utilizada no Item 4.1.3, onde a massa seca em estufa (g) deve ser

dividida pelo volume seco da amostra (cm³). A Equação 4 é preconizada pela NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$\rho_s = \frac{M_s \text{ (g)}}{V_s \text{ (cm}^3\text{)}} \quad \text{(Equação 4)}$$

Na Figura 4.34 é possível observar os corpos de prova utilizados, a aferição das medidas de diâmetro externo, interno e comprimento com o uso de paquímetro manual, a pesagem dos bambus e a secagem dos mesmos em estufa a 100^o C, mostrando o passo a passo da realização da avaliação de densidade.



Figura 4.34: Realização do ensaio de densidade dos bambus envelhecidos naturalmente.

a		
b	c	d
e	f	

a: Corpos de prova de bambu utilizados para o ensaio de densidade.

b: Medida do diâmetro externo.

c: Medidas do diâmetro interno.

d: Medida do comprimento dos corpos de prova.

e: Pesagem dos corpos de prova.

f: Secagem dos corpos de prova em estufa.

Os resultados obtidos nas avaliações de densidade dos bambus envelhecidos naturalmente são apresentados nas Tabelas 4.19 e 4.20.

Tabela 4.19 - Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos naturalmente, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Comp. (cm)	Volume (cm ³)	Massa seca em estufa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	2,30	1,25	4,55	13,31	6,2	0,46
2	2,38	1,29	5,20	16,32	7,1	0,43
3	2,47	1,79	5,08	11,54	8,7	0,75
4	2,78	1,64	5,21	20,60	9,2	0,44
5	2,55	1,48	5,03	17,02	12,8	0,75
6	2,14	1,36	4,40	9,42	6,4	0,67
7	2,00	1,30	4,50	8,16	6,2	0,75
8	2,20	1,33	5,10	12,29	5,4	0,66
9	2,98	1,63	5,18	24,97	12,0	0,48
10	2,62	1,56	5,07	17,63	11,0	0,62
11	2,55	1,53	5,17	16,88	10,8	0,63
12	2,67	1,78	4,73	14,70	11,3	0,76

Valores estatísticos

Densidade seca média = 0,62 g/cm³

Densidade seca característica = 0,37 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,13 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,12 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 20,30 %

Tabela 4.20 - Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos naturalmente, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Comp. (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Densidade (g/cm ³)
1	23,4	16,2	38,2	8,54	6,7	0,78
2	24,2	18,3	38,3	7,53	4,5	0,60
3	25,6	16,2	39,1	12,06	6,0	0,50
4	25,0	18,1	38,1	8,89	5,7	0,64
5	24,0	16,4	38,0	9,15	5,5	0,60
6	23,0	18,0	37,6	6,05	5,1	0,84
7	25,0	19,8	37,6	6,87	5,4	0,79
8	25,9	19,2	36,9	8,75	5,1	0,58
9	26,2	16,1	39,0	13,07	6,1	0,47
10	24,0	20,4	38,9	4,88	5,7	0,11
11	23,3	16,4	39,2	8,42	4,5	0,53
12	24,4	18,2	38,5	7,98	6,4	0,80

Valores estatísticos

Densidade seca média = 0,60 g/cm³

Densidade seca característica = 0,30 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,20 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,19 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 31,73 %

Após o processo de envelhecimento natural, a densidade característica dos bambus secos em estufa diminuiu em comparação com a densidade seca dos bambus *in natura*, denotando que a porosidade do material aumentou devido ao processo de degradação.

4.3.4 Ensaios de resistência à compressão paralela às fibras

Para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras dos bambus envelhecidos naturalmente, foram preparados 24 (vinte e quatro) corpos-de-prova, feitos a partir de colmos de bambu que foram retirados do interior dos painéis.

Foram preparados 12 (doze) corpos-de-prova com nós e 12 sem nós. De acordo com as recomendações do Item B.13 da NBR 7190 (ABNT, 1997), procurou-se manter a relação da h / \varnothing (altura pelo diâmetro) igual a 2. A Figura 4.35 mostra detalhes dos corpos de prova utilizados para a realização dos ensaios de compressão, o momento do ensaio na Máquina Universal de Ensaios DL 30.000, da Linha EMIC e o aspecto das peças após a compressão exercida pelo equipamento.



Figura 4.35: Imagens relativas ao ensaio de resistência à compressão paralela às fibras.

a | **b**
c

a: Corpos de prova de bambu envelhecido naturalmente, preparados para o ensaio.

b: Realização do ensaio de compressão.

c: Corpos de prova de bambus após ensaio de compressão.

Os resultados obtidos nestes ensaios são apresentados nas Tabelas 4.21 e 4.22. Os ensaios foram realizados no Laboratório da Universidade Católica de Goiás (PUC/GO) e contribuem significativamente para as avaliações de desempenho e durabilidade dos bambus e dos painéis de bambu, apresentados no Capítulo 5 da Tese, no Item 5.3-C.

Tabela 4.21 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente sem nó.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm ²)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	22,71	18,60	133,27	13,02	7862,90	60,00
2	23,90	18,73	173,01	14,84	10462,38	60,47
3	23,47	17,67	187,30	15,44	12025,73	64,20
4	22,64	17,43	163,87	14,44	11494,59	70,14
5	23,31	18,38	161,33	14,16	13108,04	81,24
6	22,26	18,23	128,09	12,77	5561,90	43,42
7	23,56	18,98	152,94	13,95	7576,21	49,53
8	17,69	11,08	149,27	13,78	5890,46	39,46
9	17,39	11,09	140,84	13,39	5790,25	41,11
10	24,09	17,49	215,41	16,56	11584,78	53,78
11	23,00	18,15	156,66	14,12	9891,16	63,13
12	23,56	18,07	179,40	15,11	9510,34	53,01

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 56,62 MPa

Resistência à compressão característica = 40,51 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 12,42 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 11,89 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 20,99 %

Tabela 4.22 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente com nó.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm ²)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	25,04	17,38	255,07	18,51	4980,65	19,52
2	22,88	17,48	171,08	14,76	5802,41	33,91
3	26,09	18,30	271,44	18,59	10302,04	37,95
4	25,01	17,39	253,62	17,97	10131,67	39,94
5	20,61	14,62	152,67	13,94	4369,35	28,61
6	24,50	17,03	243,52	17,61	9810,99	40,28
7	20,03	11,48	211,48	16,41	5331,40	25,20
8	27,37	19,15	300,17	19,55	6329,26	21,08
9	22,08	14,35	221,05	16,78	6343,57	28,69
10	22,09	12,65	257,43	18,10	4775,94	18,55
11	28,34	21,36	272,31	18,62	9810,99	36,02
12	32,16	22,02	431,26	23,43	7601,90	17,62

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 28,95 MPa

Resistência à compressão característica = 24,61 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 8,56 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 8,20 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 28,32 %

Tanto nos corpos de prova sem nó, quanto nos corpos de prova com nó, verificou-se que a resistência característica à compressão diminuiu em torno de 44 e 61%, respectivamente, em comparação com os resultados obtidos nos bambus *in natura* (Tabela 4.11 e 4.12). Os resultados evidenciam a perda das características mecânicas em função da degradação natural do bambu. Esta avaliação foi discutida com maior propriedade no Capítulo 5, Item 5.3, através de relações lineares estabelecidas a partir dos resultados obtidos.

4.3.5 Ensaio de resistência à flexão perpendicular às fibras

Os ensaios de flexão perpendicular às fibras dos bambus envelhecidos naturalmente, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção na PUC/GO, no equipamento DL 30.000, da Linha EMIC. Para tal, foram preparados 24 (vinte e quatro) corpos de prova, sendo que 12 (doze) continham nó no meio das varas e os outros 12 (doze) continham nó fora do eixo central das varas. O comprimento das peças é dado pela Norma Brasileira para Estruturas de Madeira, NBR 7190 (ABNT, 1997), Item B.14, que prevê o equivalente a 23 vezes a medida do diâmetro. A Figura 4.36 (a) e (b) ilustram os corpos de prova utilizados nos ensaios.



(a)



(b)

Figuras 4.36: (a) e (b) Corpos de prova de bambu envelhecidos naturalmente, preparados para os ensaios de flexão.

A Figura 4.37 mostra a disposição do corpo de prova no equipamento de ensaio. Os resultados deste ensaio são apresentados nas Tabelas 4.23 e 4.24. Na Parte III da Tese, que trata das Análises dos Resultados (Item 5.3), é feita uma discussão destes resultados, relacionando os valores obtidos com o desempenho e a durabilidade dos bambus e dos painéis de bambu.



Figura 4.37: Ensaio de flexão dos colmos de bambu envelhecidos naturalmente.

Tabela 4.23 – Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus envelhecidos naturalmente, sem nó na parte central (eixo) do corpo de prova.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Vão (L) (mm)	K (mm ²)	Carga (N)	Resistência à flexão (MPa) (carga x K)
1	22,54	17,00	840	0,2762	200,43	55,35
2	25,74	16,86	840	0,1254	350,45	44,00
3	22,73	17,35	840	0,2758	150,54	41,37
4	20,91	14,56	840	0,3059	190,41	58,25
5	27,35	15,91	840	0,1181	200,19	23,64
6	27,39	18,22	840	0,12947	420,90	54,49
7	19,90	13,47	840	0,34362	150,11	51,58
8	22,80	16,37	840	0,2458	200,64	49,31
9	22,10	17,96	840	0,3515	140,60	49,42
10	22,56	15,89	840	0,2471	190,62	46,94
11	25,41	22,21	840	0,3132	150,54	47,15
12	25,92	18,41	840	0,16479	160,13	26,38

Valores estatísticos

Resistência à flexão média = 45,66 MPa

Resistência à flexão característica = 44,01 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 10,76 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 10,30 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 22,57%

Tabela 4.24 – Resultados de resistência à flexão perpendicular às fibras de colmos de bambu envelhecidos naturalmente, com nó no centro (eixo) do corpo de prova.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Vão (L) (mm)	K (mm ²)	Carga (N)	Resistência à flexão (MPa) (carga x K)
1	22,08	13,38	840	0,2297	160,34	36,83
2	23,63	16,47	840	0,21223	170,36	36,15
3	23,51	16,9	840	0,2246	250,75	56,31
4	26,43	14,29	840	0,1267	280,60	35,55
5	21,46	14,41	840	0,271	150,32	40,73
6	20,81	13,65	840	0,2913	170,36	49,62
7	22,48	9,94	840	0,1958	130,28	25,50
8	20,97	15,83	840	0,3435	110,94	37,86
9	23,24	14,96	840	0,2057	260,99	53,68
10	26,75	16,67	840	0,1316	361,20	47,53
11	28,49	19,89	840	0,1213	380,81	46,19
12	24,84	15,81	840	0,1669	190,41	31,78

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 41,48 MPa

Resistência à compressão característica = 31,31 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 9,25 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 8,86 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 21,36%

Os resultados de resistência à flexão características obtidos nos corpos de prova sem e com nó no centro do corpo de prova, após o envelhecimento natural, foram significativamente inferiores aos obtidos nos bambus *in natura* (Tabelas 4.13 e 4.14). Pensa-se que a redução das propriedades mecânicas do bambu é decorrente da degradação natural do material. No Item 5.3 da Tese é apresentada essa discussão, inserindo-se nesta a influência da mineralização como tratamento preventivo da degradação dos bambus.

4.3.6 Ensaio de resistência de aderência da argamassa

A aderência da argamassa de revestimento aos painéis de bambu foi um dos requisitos de grande relevância na investigação do desempenho e da durabilidade dos painéis de bambu argamassados. De acordo com a literatura consultada, apresentada no Capítulo 1 da Tese, um dos problemas mais frequentes dos painéis de bambu argamassados é o descolamento da argamassa de revestimento, que além de comprometer o bom desempenho de vedação dos painéis, compromete o aspecto visual das construções. Esta avaliação, portanto, destaca-se como uma das mais importantes da pesquisa.

Com base na comparação dos resultados obtidos na investigação da resistência de aderência da argamassa em painel envelhecido naturalmente (Item 4.3) e em painel envelhecido aceleradamente (Item 4.4), em relação a painel que não sofreu processo de envelhecimento (Item 4.2), pôde-se avaliar se a argamassa de revestimento perde aderência com a estrutura interna de bambu ao longo da vida útil dos painéis, devido à exposição à intempérie. Esta discussão será ampliada no Item 5.3 da Tese, no Capítulo 5.

Os ensaios de aderência à tração da argamassa, preconizados pela da Norma Brasileira NBR 13.528 (ABNT, 1995), foram realizados em um dos painéis de bambu envelhecidos naturalmente, a fim de obter os resultados da tensão de aderência média e forma de ruptura.

De acordo com os procedimentos do ensaio, foram coladas 12 (doze) pastilhas metálicas com adesivo à base de epóxi na superfície argamassada do painel envelhecido de forma natural. As pastilhas foram coladas em uma das faces do painel, de forma aleatória e distribuídas em toda a superfície. Após o período de 24 horas (para secagem do adesivo), iniciou-se o ensaio de aderência à tração, com o uso do equipamento DYNA PROCEQ – *pull-of tester* Z-16. A Figura 4.38 ilustra as principais etapas que antecederam o ensaio.



Figura 4.38: Preparação para o ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento do painel de bambu envelhecido naturalmente.

a	b
c	d

a: Adesivo epoxídico, pastilhas metálicas e equipamento para realização do ensaio.

b: Painel com a superfície perfurada para receber pastilhas metálicas.

c: Colagem das pastilhas metálicas na argamassa de revestimento do painel.

d: Pastilhas metálicas aderidas à argamassa de revestimento.

A Figura 4.39 mostra o momento da aplicação da carga, a forma de ruptura e a conferência da medida da espessura da argamassa sobre o substrato de bambu, com o uso de régua metálica.



Figura 4.39: Ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento em painel de bambu envelhecido naturalmente.

a	b
c	d

a: Momento de realização do ensaio, com o uso do equipamento DYNA PROCEQ.

b: Vista geral do painel após a realização do ensaio.

c: Detalhe da argamassa aderida às pastilhas metálicas.

d: Conferência da espessura da argamassa sobre o substrato de bambu.

De acordo com a NBR 13.528 (ABNT, 1995), para determinar a resistência de aderência à tração da argamassa, estabelece-se como limite mínimo de resistência de aderência à tração para revestimentos externos de camada única o valor de 0,3 MPa. Os resultados foram anotados e compõem a Tabela 4.25. Além dos valores de tensão de ruptura dados pelo equipamento, observou-se a forma de ruptura e a espessura do cobrimento da argamassa sobre cada orifício.

Tabela 4.25 - Resultados de aderência à tração da argamassa de revestimento do painel de bambu envelhecido naturalmente.

Região	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura	Espessura da argamassa sobre o bambu (mm)
1	1,62	100% na argamassa	25 mm
2	1,81	80% na argamassa 20% no substrato	23 mm
3	1,94	100% na argamassa	25 mm
4	1,42	90% na argamassa 10% no substrato	23 mm
5	1,65	100% na argamassa	25 mm
6	0,41	95% na argamassa 5% no substrato	20 mm
7	1,13	100% na argamassa	24 mm
8	0,23	95% na argamassa 5% no substrato	20 mm
9	1,43	100% na argamassa	25 mm
10	0,50	95% na argamassa 5% no substrato	20 mm
11	0,45	95% na argamassa 5% no substrato	20 mm
12	0,45	95% na argamassa 5% no substrato	20 mm

Com exceção da região 8, todos os valores obtidos são superiores ao critério de aceitação da NBR 13.528 (ABNT, 2010), que associa a um bom desempenho de uma argamassa de revestimento, uma resistência de aderência igual ou superior a 0,3 MPa. Apesar disso, deve-se considerar que o fator limitante para a obtenção da resistência de aderência igual a 0,23 MPa foi a resistência da argamassa. Cabe salientar que em todas as regiões avaliadas, a ruptura ocorreu majoritariamente na argamassa de revestimento. A discussão sobre a influência do envelhecimento sobre a resistência de aderência da argamassa dos painéis será ampliada no Item 5.3, do Capítulo 5.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS DE BAMBUS ARGAMASSADOS ENVELHECIDOS ACELERADAMENTE

O objetivo principal deste ensaio é o de avaliar as características físicas e mecânicas dos painéis de bambu, bem como dos bambus extraídos destes painéis, que foram secos ao ar, mineralizados e argamassados, e expostos ao ensaio de envelhecimento acelerado, para fins de investigação sobre seu desempenho e sua durabilidade.

Buscou-se neste ensaio caracterizar os painéis de bambu submetidos ao processo de envelhecimento acelerado, com o objetivo de reproduzir, de forma relativamente rápida, as mudanças que ocorreram nas condições de uso do componente construtivo. Neste tipo de ensaio, os componentes são submetidos aos fatores de degradação em intensidades acima das esperadas nas condições de uso, acelerando-se o processo de degradação.

A metodologia adotada foi baseada na NBR 13.554 (ABNT, 1996), para Solo-Cimento, que trata do Ensaio de Durabilidade por Molhagem e Secagem. Justifica-se esta escolha pelo fato de não haver normas brasileiras ou internacionais específicas para ensaios em bambus *in natura* na forma cilíndrica ou específica para o componente construtivo proposto. Desta forma, algumas adaptações foram necessárias para o caso dos painéis de bambu, utilizando-se a referida norma como diretriz para o desenvolvimento da metodologia.

O painel de bambu envelhecido de maneira acelerada foi caracterizado pelo seu aspecto visual (4.4.1); pela sua umidade nas condições de equilíbrio com a argamassa de revestimento (4.4.2); pela sua densidade seca em estufa (4.4.3); pela resistência à compressão paralela às fibras (4.4.4); e pela resistência de aderência da argamassa sobre os colmos de bambu que estruturam o painel (4.3.5).

As degradações observadas nos painéis de bambu durante a exposição de curta duração de forma acelerada, apresentadas no presente Item 4.4, serão comparadas com as degradações ocorridas nos painéis submetidos à exposição de longa duração, nas condições naturais de uso (Item 4.3), e também com os painéis não submetidos a processos de envelhecimento (painel de referência, Item 4.2). Esta análise comparativa será apresentada no Capítulo 5 da Tese, que trata da Análise dos Resultados.

Todas as etapas do ensaio de envelhecimento acelerado foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção, da Escola de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Goiás (LMC/EEC/UFG). Utilizou-se alguns equipamentos como a Estufa de Esterilização Universal Modelo 219, marca FABBE PRIMAN, além da câmara úmida do Laboratório.

Foram produzidos seis painéis de bambu, de pequenas dimensões, com medidas de 60cm x 60cm x 0,6cm. Este material foi produzido na empresa EMBAMBU (Senador Canedo – GO) e o seu processo de produção é descrito de maneira detalhada no Item 3.2, do Capítulo 3 desta. A Figura 4.40 (a) e (b) ilustra os corpos de prova que foram produzidos para a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado.



(a)



(b)

Figura 4.40 (a) e (b): Imagem de um dos corpos de prova produzido para o ensaio de envelhecimento acelerado.

Os corpos de prova, após a montagem da sua estrutura, foram mineralizados, chapiscados e argamassados. Todo o processo de montagem do painel, bem como a Mineralização e os procedimentos de aplicação de chapisco e da argamassa de revestimento nos painéis, foram descritos de maneira detalhada no Item 3.2 da Tese, no Capítulo 3.

É possível observar na Figura 4.41, os corpos de prova prontos para o início do ensaio de envelhecimento acelerado, com a argamassa de revestimento aplicada nas duas faces do painel e seca, após 28 dias de cura.



Figura 4.41: Seis corpos de prova de bambu argamassados, preparados para o ensaio de envelhecimento acelerado.

O ensaio de envelhecimento acelerado é caracterizado por ciclos de molhagem e secagem dos corpos de prova, que foram feitos em tanques de imersão da EEC/UFG e Estufa Esterilizada Universal, Modelo 219, da marca Fabbe-Priman, de maneira a atender os requisitos exigidos na NBR 13.554 (ABNT, 1996).

Inicia-se o ensaio com a imersão total dos corpos de prova, em tanque apropriado e destinado à imersão de corpos de prova, com água limpa e em temperatura ambiente. Os painéis ficaram totalmente imersos na água, pelo período de 24 horas, para que ficassem molhados completamente e por igual (Figura 4.42), em processo de cura.



Figura 4.42: Etapa de molhagem dos corpos de prova, durante 24 horas, antes do início dos ciclos de envelhecimento acelerado.

Assim que retirados do tanque, os corpos de prova ficaram na posição vertical (Figura 4.43), para que o excesso de água superficial fosse naturalmente escoado dos painéis. Deste modo, evita-se o escoamento de água dentro da estufa.



Figura 4.43: Painéis descansando na posição vertical para escoamento do excesso de água.

Após cinco horas na posição vertical, os painéis foram colocados em estufa regulada a 71°C (± 2), temperatura regulada de acordo com os procedimentos ditados pela NBR 13.554 (ABNT, 1996), permanecendo no processo de secagem por 42 horas. O procedimento de secagem dos corpos de prova em estufa pode ser observado na Figura 4.44.



Figura 4.44: Secagem dos corpos de prova de bambu em estufa.

Ao serem retirados da estufa da estufa, os painéis receberam uma escovação firme, correspondente a 15N, sendo requerida uma média de 18 a 20 escovações para cada superfície do corpo de prova. Utilizou-se para tal, uma escova de tiras de chapa de aço, de nº 26. A escovação foi aplicada em todo o eixo longitudinal do corpo de prova, de maneira a cobrir toda a superfície. Tal procedimento pode ser observado na Figura 4.45.



Figura 4.45: Aplicação da lixa de tiras de chapa de aço, nas superfícies argamassadas dos painéis de bambu.

Deve-se dar o prazo de 1 hora após a retirada da estufa, antes de efetuar a escovação. A finalidade da escovação é simular o desgaste natural da argamassa, que em situação real de uso, fica exposta ao sol, vento, chuva e poluição.

O ensaio de envelhecimento acelerado possibilita também avaliar a variação da umidade e a perda de massa dos corpos de prova de bambu, após os ciclos de molhagem e secagem. Durante o ensaio foram feitas diversas averiguações com relação ao peso dos painéis de bambu. A cada ciclo, os painéis eram pesados após a saída da câmara úmida e após a saída da estufa e da lixação das superfícies, como mostra a Figura 4.46.



Figura 4.46: Averiguação do peso dos painéis de bambu após a etapa de secagem em estufa.

Seguindo as diretrizes da NBR 13.554 (ABNT, 1996), o procedimento constitui um ciclo de 48 horas de molhagem e secagem e deve ser repetido por mais de cinco vezes. Nesta pesquisa, o processo foi repetido por seis vezes, com um ciclo a mais de que o prescrito pela norma.

Todos os resultados obtidos no ensaio de envelhecimento acelerado, relativos a caracterização visual dos painéis e dos bambus internos aos painéis (4.4.1); à sua umidade nas condições de equilíbrio com a argamassa de revestimento (4.4.2); à sua densidade seca em estufa (4.4.3); à resistência à compressão paralela às fibras (4.4.4); e relativos à resistência de aderência da argamassa sobre as varas de bambu que estruturam o painel (4.3.5), serão apresentados neste Item 4.4. Os resultados serão posteriormente avaliados e discutidos, na Parte III da Tese, Capítulo 5, que trata da Análise dos Resultados.

4.4.1 Caracterização visual

Foram realizadas avaliações visuais nos corpos de prova submetidos ao ensaio de envelhecimento acelerado, a fim de observar possíveis aspectos associados ao processo de degradação, causados pelo envelhecimento acelerado, ao qual foram submetidos.

A) Avaliação visual da argamassa de revestimento

Na avaliação visual da argamassa de revestimento, observou-se que, quanto à coloração, foi mantida a mesma tonalidade cinza clara apresentada no início do ensaio, sem mudanças

significativas neste aspecto, nos seis corpos de prova avaliados. A argamassa de revestimento apresentou-se com aparência visual rugosa e homogênea, praticamente isenta de fissuras. Na maioria dos corpos de prova, as poucas fissuras encontradas possuem medidas que não ultrapassaram 0,2 mm, com exceção do corpo de prova nº4. A Figura 4.47 apresenta em detalhe o painel nº 3, que demonstra a caracterização da argamassa acima descrita.



Figura 4.47: Análise visual da argamassa de revestimento no corpo de prova nº 3, após o ensaio de envelhecimento acelerado.

Apenas um dos seis corpos-de-prova, o de nº 4, apresentou fissuras significativas, que variaram entre 0,2 e 0,8mm, na face superior do painel. Na Figura 4.48 podem ser observadas as fissuras descritas acima, com o auxílio de setas.

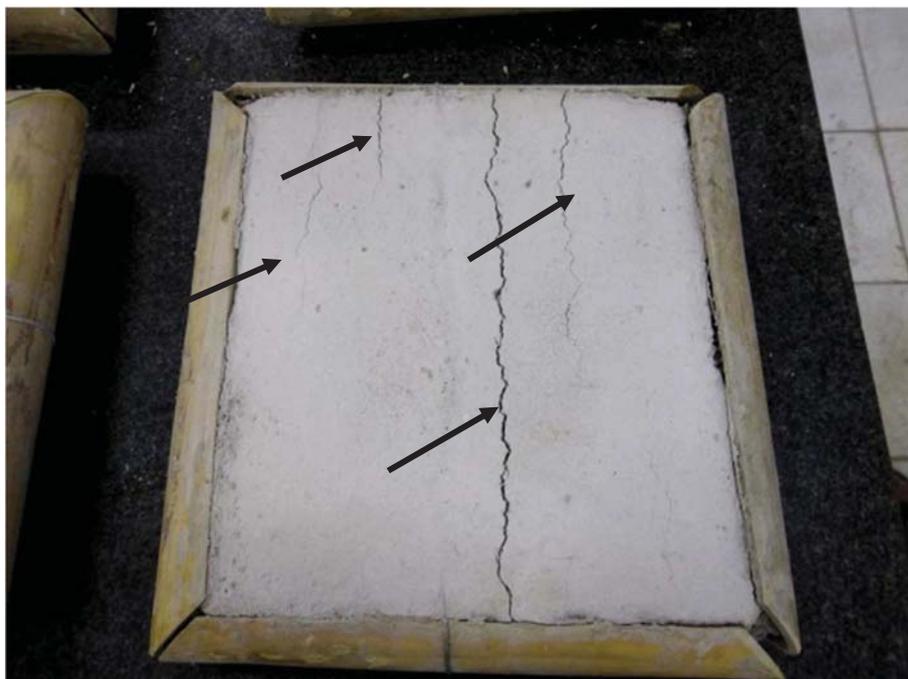


Figura 4.48: Análise visual da argamassa de revestimento no corpo de prova nº 4, após ensaio de envelhecimento acelerado.

Quanto às molduras de bambu, observou-se que, apenas no painel nº 4 (Figura 4.48), ocorreu um afastamento, de aproximadamente 0,3mm, entre a moldura de bambu e a argamassa de revestimento. Acredita-se que este afastamento da moldura é decorrente da retração da argamassa de revestimento.

B) Avaliação visual dos bambus

Neste item, fez-se a caracterização visual dos bambus secos ao ar e mineralizados, que ficaram inseridos em painéis de bambu submetidos ao processo de envelhecimento acelerado.

Inicialmente, fez-se a retirada da argamassa de revestimento dos painéis, de maneira cuidadosa e com o auxílio de um martelo. Após a remoção de toda a argamassa de revestimento pode-se avaliar o aspecto visual dos bambus internos aos corpos de prova.

Nota-se que a aparência dos bambus é saudável, sem aparentar perda de seção ou rachaduras. Quanto à coloração, observa-se uma tonalidade mais escurecida, em tons de marrom, além de apresentar uma camada de pó esbranquiçado na superfície dos bambus, devido ao contato dos mesmos com a argamassa de revestimento. A Figura 4.49 apresenta o aspecto visual dos bambus.



Figura 4.49: Aparência dos bambus mineralizados, que foram retirados dos painéis de bambu submetidos ao processo de envelhecimento acelerado.

a	b
c	

a: Bambus envelhecido de forma acelerada, após retirada da argamassa de revestimento.

b: Aspecto visual dos bambus, esbranquiçados devido à Mineralização.

c: Aspecto visual dos corpos de prova de bambu, com coloração marrom escura.

4.4.2 Umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada

Neste Item apresentam-se as avaliações da umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, assim como realizado nos bambus *in natura* (Item 4.1.2), nos bambus não submetidos a processo de envelhecimento (Item 4.2.2) e nos painéis envelhecidos de forma natural (Item 4.3.2). O objetivo deste ensaio é o de avaliar a umidade dos bambus em equilíbrio com a argamassa de revestimento, ou seja, a umidade do bambu interno ao painel, e compará-la com a umidade do bambu *in natura*, haja vista que estes aspectos são importantes para a avaliação da durabilidade e desempenho do painel de bambu como componente construtivo das construções.

Os corpos de prova foram feitos a partir de colmos de bambu retirados do interior de um dos painéis, cortados com serra elétrica, e adotando-se medidas aproximadas de 8cm de comprimento. A altura foi dada pela medida de duas vezes o diâmetro ($h = \varnothing \times 2$), de acordo o Item B.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram preparados 24 (vinte e quatro) corpos de prova para o ensaio, sendo 12 corpos de prova sem nós e outros doze com nós. A Figura 4.50 (a) e (b) ilustra alguns corpos de prova preparados para o ensaio de umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada.



Figura 4.50 (a) e (b) : Corpos de prova feitos a partir das colmos de bambu, envelhecidos naturalmente.

Os corpos de prova foram pesados em balança eletrônica, para obtenção de valores de massa inicial (M_i) e, posteriormente, foram levados para a secagem em estufa, com temperatura de 100°C , para obtenção de valores de massa seca em estufa (M_s). A umidade das peças de bambu, nas condições de equilíbrio com a umidade da argamassa de revestimento, foi dada através da Equação 1.

$$U(\%) = \frac{M_i - M_s}{M_s} \times 100$$

(Equação 1)

Os resultados obtidos na avaliação de umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, sem nó e com nó, foram anotados nas Tabelas 4.26 e 4.27.

Tabela 4.26 - Resultados da umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, sem nó.

C.P.	Massa inicial (Mi) (g)	Massa seca estufa (Ms) (g)	Umidade (U) (%)
1	47,8	45,5	5,0
2	33,9	32,8	3,3
3	42,2	40,0	5,5
4	41,8	40,5	3,2
5	33,9	32,7	3,7
6	39,5	38,2	3,4
7	43,2	41,5	4,1
8	35,9	35,0	2,6
9	44,4	42,3	4,9
10	31,4	30,3	3,6
11	42,0	40,2	4,5
12	43,1	41,3	4,3

Valores estatísticos

Umidade média = 4,01 % (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

Umidade característica = 3,1% (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,86%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,82%

c.v. (coeficiente de variação) = 20,51%

Tabela 4.27 - Resultados da umidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, com nó.

C.P.	Massa inicial (Mi) (g)	Massa seca estufa (Ms) (g)	Umidade (U) (%)
1	36,3	34,3	5,83
2	42,4	39,9	6,26
3	31,7	30,1	5,31
4	28,7	26,8	7,08
5	28,0	26,6	5,26
6	23,8	22,8	4,38
7	20,8	19,6	6,12
8	31,9	29,8	7,04
9	25,0	23,5	6,38
10	22,8	21,4	6,54
11	25,4	23,9	6,27
12	28,5	26,7	6,74

Valores estatísticos

Umidade média = 6,10 % (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

Umidade característica = 5,8 % (em equilíbrio com a argamassa de revestimento)

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,79%

σ_n (desvio padrão da população) = 0,76%

c.v. (coeficiente de variação) = 12,47%

4.4.3 Densidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada

Os ensaios de densidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada buscaram avaliar as características relativas à massa específica dos corpos de prova e suas variações em relação com os bambus *in natura*, que serviram como valores referenciais. Para a realização do ensaio, foram preparados 24 corpos de prova, feitos a partir dos colmos de bambus envelhecidos de forma acelerada, sendo 12 sem nós e 12 com nós.

As Figuras 4.51 e 4.52 apresentam, respectivamente, corpos de prova no momento da pesagem em balança eletrônica (para obtenção dos valores de massa), e corpos de prova sendo medidos com paquímetro manual, para aferição do diâmetro interno, externo e comprimento.



Figura 4.51: Avaliação da massa dos corpos de prova de bambu envelhecidos de forma acelerada.



Figura 4.52: Corpos de prova de bambu envelhecidos de forma acelerada, sendo medidos com o uso de paquímetro manual.

As Tabelas 4.28 e 4.29 apresentam os resultados de densidade dos bambus envelhecidos de forma acelerada, em peças sem nós com nós, que foram secos em estufa.

Tabela 4.28 - Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos de forma acelerada, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Comp. (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Massa Específica (g/cm ³)
1	3,91	3,14	8,38	35,71	36,3	1,01
2	3,00	2,07	7,82	28,94	42,4	1,46
3	3,11	1,80	8,42	42,51	31,7	0,75
4	2,89	2,17	8,30	23,73	28,7	1,20
5	2,99	2,88	8,18	41,46	28,0	0,69
6	2,97	2,83	7,87	49,47	23,8	0,51
7	3,24	2,76	7,90	17,86	20,8	1,16
8	3,00	1,96	8,00	26,33	31,9	1,21
9	3,72	3,24	7,92	20,77	25,0	1,20
10	3,34	2,63	8,02	27,32	22,8	0,83
11	3,89	3,14	8,25	34,14	25,4	0,74
12	3,87	3,05	8,10	36,07	28,5	0,79

Valores estatísticos

Densidade média = 0,96 g/cm³

Densidade característica = 0,62 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,28 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,27 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 28,20 %

Tabela 4.29 - Resultados da densidade dos bambus secos em estufa e envelhecidos de forma acelerada, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (cm)	Diâmetro Interno (cm)	Comp. (cm)	Volume (cm ³)	Massa (g)	Massa Específica (g/cm ³)
1	3,65	1,50	7,50	65,17	45,5	0,69
2	3,69	2,71	8,00	39,37	32,8	0,83
3	3,77	2,68	7,91	43,64	40,0	0,91
4	3,62	1,82	7,69	59,10	40,5	0,68
5	4,09	3,33	8,28	36,65	32,7	0,89
6	4,64	3,32	7,99	65,89	38,2	0,57
7	3,93	2,14	8,10	69,08	41,5	0,60
8	4,24	3,23	8,20	48,56	35,0	0,72
9	3,95	2,67	8,15	54,19	42,3	0,78
10	3,62	2,43	7,66	43,28	30,3	0,70
11	3,74	2,64	7,90	43,51	40,2	0,92
12	3,97	2,15	8,23	71,95	41,3	0,57

Valores estatísticos

Densidade média = 0,74 g/cm³

Densidade característica = 0,59 g/cm³

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 0,13 g/cm³

σ_n (desvio padrão da população) = 0,12 g/cm³

c.v. (coeficiente de variação) = 16,54 %

4.4.4 Ensaio de resistência à compressão paralela às fibras

Para a realização do ensaio de compressão paralela às fibras dos bambus envelhecidos de forma acelerada, foi necessário, inicialmente, preparar os corpos de prova. Os seis painéis de bambu submetidos ao processo de envelhecimento acelerado tiveram a argamassa de revestimento removida, de maneira cuidadosa, para a retirada dos bambus internos aos painéis. A partir destes bambus, foram preparados vinte e quatro corpos-de-prova, sendo 12

sem nós e 12 com nós, para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras dos bambus.

As medidas dos corpos de prova, assim como nos bambus *in natura* (Item 4.1) e nos bambus submetidos ao processo de envelhecimento natural (Item 4.3), foram dadas pelo Item B.13 da NBR 7190 (ABNT, 1997), que prevê a altura do corpo de prova com duas vezes a medida do diâmetro ($h = \varnothing \times 2$).

Devido às pequenas dimensões dos painéis produzidos para o ensaio de envelhecimento acelerado, de modo a atender às exigências do ensaio, não foi possível preparar os corpos de prova para o ensaio de flexão perpendicular às fibras, que deveriam ter 23 vezes a medida do diâmetro, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

As Figuras 4.53 e 4.54 ilustram os corpos de prova preparados para o ensaio de compressão paralela às fibras, dos bambus retirados dos painéis envelhecidos de forma acelerada.



Figura 4.53: Corpo de prova extraído de um painel envelhecido de forma acelerada, produzido para o ensaio de compressão paralela às fibras.



Figura 4.54: Corpos de prova extraídos de um painel envelhecido de forma acelerada, produzido para o ensaio de compressão paralela às fibras.

As Figuras 4.55 e 4.56 ilustram os corpos de prova no momento da realização do ensaio de compressão paralela às fibras, no equipamento DL 30.000, da Linha EMIC, da PUC-GO.



Figura 4.55: Corpos de prova envelhecidos de forma acelerada utilizados para o ensaio de compressão paralela às fibras.



Figura 4.56: Ensaio de compressão paralela às fibras sendo realizado em corpos de prova envelhecido de forma acelerada.

As Tabelas 4.30 a 4.41 apresentam os resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras, que foram importantes para as avaliações de desempenho e durabilidade dos bambus e dos painéis de bambu, discutidas no Item 5.3 da Tese.

Tabela 4.30 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº1, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	31,1	18,0	504,91	25,36	33.682,05	66,70
2	31,6	26,5	232,60	17,21	16.134,51	69,36
3	37,6	30,4	384,33	22,12	20.774,44	54,05
4	36,8	25,3	560,60	26,72	37.239,66	66,58
5	35,2	24,8	489,84	14,09	37.332,60	76,21
6	35,7	27,8	393,79	22,39	34.540,80	87,71

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 70,10 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 11,22 MPa

Resistência à compressão característica = 59,45 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 10,24 MPa

.v. (coeficiente de variação) = 14,61 %

Tabela 4.31 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº1, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	36,2	25,8	506,16	25,39	38.632,64	76,32
2	29,9	28,8	50,68	8,03	33.641,96	63,81
3	26,6	20,6	222,31	16,82	23.590,46	106,11
4	30,6	28,4	101,89	11,39	10.522,51	103,27
5	30,3	18,4	454,93	24,07	22.758,69	50,24
6	40,7	36,0	282,48	18,98	24.362,12	86,09

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 80,81 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 21,94 MPa

Resistência à compressão característica = 41,50 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 20,03 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 24,78 %

Tabela 4.32 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº2, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	35,8	29,4	327,56	20,42	24.171,71	73,79
2	38,7	33,1	315,63	20,05	31.246,84	98,99
3	34,9	30,1	244,92	9,96	36842,91	150,42
4	35,1	29,3	293,21	19,32	37.430,07	127,65
5	39,1	31,4	426,13	23,29	26.386,45	61,92
6	29,7	24,7	213,52	16,49	15.924,06	74,51

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 97,88 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 34,84 MPa

Resistência à compressão característica = 67,32 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 31,80 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 32,49%

Tabela 4.33 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº2, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	35,5	33,7	67,05	14,50	23721,60	142,62
2	35,4	31,8	189,90	15,55	30181,72	158,93
3	35,2	30,3	251,94	17,91	19110,36	75,85
4	34,6	29,7	247,32	17,74	18.920,47	76,50
5	38,7	30,7	435,83	23,56	25710,40	58,99
6	28,3	26,0	296,34	19,42	44830,17	151,28

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 110,70 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 44,83 MPa

Resistência à compressão característica = 64,17 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 40,93 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 36,97%

Tabela 4.34 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº3, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	33,7	25,3	389,04	12,56	26418,10	67,90
2	34,7	26,9	377,17	12,36	23108,42	61,26
3	33,1	25,0	369,42	12,24	30417,87	82,33
4	35,2	26,3	429,66	13,20	19542,12	45,48
5	35,7	26,5	449,20	13,49	29432,70	65,52
6	35,3	30,4	252,71	10,12	23586,52	93,33

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 69,30 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 16,71 MPa

Resistência à compressão característica = 45,34 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 15,25 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 22,00 %

Tabela 4.35 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº3, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	34,8	25,0	460,04	24,20	27.538,91	59,86
2	35,0	27,8	354,94	21,26	23.309,86	65,67
3	34,9	26,8	392,31	22,35	31.747,91	80,92
4	36,5	26,0	515,15	25,61	18.639,87	36,18
5	35,3	26,9	410,14	22,85	30.725,73	74,91
6	37,2	31,0	331,92	20,56	22.688,54	68,35

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 64,31 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 15,60 MPa

Resistência à compressão característica = 33,40 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 14,24 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 22,15%

Tabela 4.36 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº4, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	35,2	27,1	396,13	22,46	33.872,46	85,50
2	36,2	21,5	665,82	29,12	41.338,43	62,08
3	34,5	27,2	353,57	21,22	33.150,91	93,76
4	30,0	23,7	265,57	18,39	23.520,31	88,56
5	29,9	24,1	245,86	17,69	88.68,97	36,07
6	33,0	26,8	291,04	19,25	17.216,83	59,15

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 70,85 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 22,26 MPa

Resistência à compressão característica = 36,45 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 20,32 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 28,67%

Tabela 4.37 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº4, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	34,7	27,2	364,43	21,54	15.172,46	41,63
2	29,7	28,3	156,83	14,13	21.475,94	136,93
3	31,3	27,7	166,73	14,57	13.689,28	82,10
4	34,6	23,0	524,50	25,84	36.959,06	70,46
5	36,2	22,7	624,19	28,19	34.493,79	55,26
6	30,2	23,5	282,43	18,96	18.940,52	67,06

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 75,57 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 33,08 MPa

Resistência à compressão característica = 32,81 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 30,20 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 40,00 %

Tabela 4.38 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº5, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	30,1	24,4	243,86	17,62	13.779,48	56,50
2	31,7	29,0	263,25	18,31	25.163,83	95,59
3	33,0	28,1	235,02	17,30	19.722,19	83,91
4	32,4	24,8	341,25	20,84	16.866,08	49,42
5	32,7	26,9	293,82	19,34	24.682,80	84,00
6	36,9	29,7	376,42	21,89	21.576,15	57,31

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 71,12 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 18,99 MPa

Resistência à compressão característica = 53,47 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 17,34 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 24,38 %

Tabela 4.39 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada nós – Painel nº5, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	29,8	24,3	233,57	16,71	21.352,62	91,41
2	36,3	33,4	158,67	14,21	19.912,68	125,49
3	37,0	24,9	587,95	27,36	23.069,35	49,44
4	38,4	29,8	460,41	24,21	41.168,07	89,41
5	36,6	24,1	595,61	27,54	31.747,91	53,30
5	37,0	27,5	481,00	24,75	39.374,23	81,85

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 81,82 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 27,99 MPa

Resistência à compressão característica = 22,97 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 25,56 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 31,24 %

Tabela 4.40 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº6, sem nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	30,1	23,9	130,44	12,89	17.066,51	130,83
2	30,1	20,2	390,90	22,31	23.851,02	61,01
3	34,5	21,9	557,85	26,65	48.423,59	86,80
4	30,0	20,7	370,13	21,71	44.946,15	121,43
5	39,9	29,9	547,93	27,06	32.128,73	58,63
6	36,5	17,3	810,87	32,13	42.651,24	52,59

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 85,22 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 33,92 MPa

Resistência à compressão característica = 55,23 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 30,96 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 36,33 %

Tabela 4.41 - Resultados de resistência à compressão paralela às fibras do painel de bambu envelhecido de forma acelerada – Painel nº6, com nós.

C.P.	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Área (mm ²)	Diâmetro equivalente (mm)	Carga (N)	Resistência à compressão (MPa)
1	36,4	27,8	433,41	23,49	37.079,32	85,55
2	26,5	19,6	249,70	17,83	15.132,37	60,60
3	36,0	16,8	795,80	31,83	35.125,14	44,13
4	38,7	27,8	569,00	26,92	31.447,27	55,26
5	35,0	24,6	486,57	24,89	40.957,62	84,17
6	28,1	21,3	263,69	18,32	13.017,64	49,36

Valores estatísticos

Resistência à compressão média = 63,18 MPa

σ_{n-1} (desvio padrão da amostra) = 17,69 MPa

Resistência à compressão característica = 42,05 MPa

σ_n (desvio padrão da população) = 16,15 MPa

c.v. (coeficiente de variação) = 25,56%

4.4.5 Ensaio de resistência de aderência da argamassa

Os ensaios de resistência de aderência à tração da argamassa, preconizados pela NBR 13.528 (ABNT, 1995), foram realizados nos seis painéis de bambus envelhecidos de forma acelerada, a fim de obter os resultados da tensão média ruptura da argamassa e da forma de ruptura.

De acordo com os procedimentos do ensaio, foram coladas quatro pastilhas metálicas com adesivo estrutural epoxídico de média fluidez, em cada um dos painéis envelhecidos de forma acelerada. As pastilhas foram dispostas de maneira aleatória, em apenas uma das faces do painel. Após o período de 24 horas (para secagem do adesivo), iniciou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, com o uso do equipamento DYNA PROCEQ – *pull-of tester* Z-16. A Figura 4.57 ilustra um dos painéis com as pastilhas coladas.



Figura 4.57: Painel de bambu preparado para o ensaio de resistência de aderência à tração da argamassa, com as pastilhas já aderidas à argamassa de revestimento.

A Figura 4.58 mostra o desenvolvimento do ensaio de aderência à tração da argamassa, com a utilização do equipamento DYNA-PROCEQ.



Figura 4.58: Ensaio de aderência à tração da argamassa em painel envelhecido de forma acelerada.

Neste estudo, observou-se que os resultados obtidos quanto à forma de ruptura, foram predominantemente do tipo “A”, que ocorre na interface entre a argamassa e o substrato. Esta forma de ruptura ocorreu nos seis painéis de bambu e foi representada pelo esquema da Figura 4.59. A Figura 4.60 (a) e (b) mostra, respectivamente, o desenho esquemático do tipo de ruptura e as pastilha rompidas na interface entre a argamassa e o substrato de bambu.

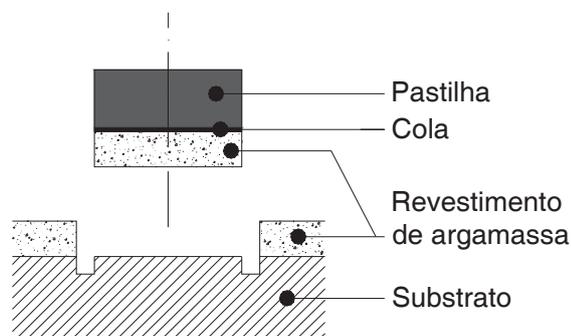


Figura 4.59: Esquema da forma de ruptura na interface entre a argamassa e o substrato (Tipo A).
Fonte: Item 4.2 da Norma NBR 13.745 (ABNT, 2010).



(a)



(b)

Figura 4.60 (a) e (b): Ensaio de aderência à tração da argamassa, mostrando a forma de ruptura das pastilhas, na interface da argamassa com o substrato de bambu.

Além dos valores de tensão de ruptura, dados pelo equipamento, e da avaliação da forma de ruptura, observou-se também a espessura do revestimento da argamassa sobre a estrutura interna de bambu. Todos os resultados obtidos neste ensaio foram apresentados na Tabela 4.42.

Tabela 4.42 - Resultados obtidos no ensaio de aderência à tração da argamassa de revestimento dos painéis de bambu envelhecidos de forma acelerada.

Painel	Tensão de Ruptura (MPa)	Forma de Ruptura	Espessura de argamassa sobre o Bambu (mm)	Tensão de ruptura média (MPa)
1	0,26	100% na interface entre substrato e argamassa	15	0,28
	0,18		13	
	0,41		15	
	0,29		14	
2	0,48	100% na interface entre substrato e argamassa	15	0,48
	0,42		15	
	0,46		15	
	0,58		14	
3	0,28	100% na interface entre substrato e argamassa	15	0,31
	0,41		14	
	0,29		14	
	0,26		15	
4	0,45	100% na interface entre substrato e argamassa	15	0,30
	0,27		15	
	0,14		15	
	0,34		15	
5	0,38	100% na interface entre substrato e argamassa	14	0,31
	0,32		14	
	0,28		15	
	0,29		15	
6	0,57	100% na interface entre substrato e argamassa	15	0,42
	0,37		15	
	0,33		14	
	0,44		15	

Com base no confronto dos resultados obtidos na investigação da aderência da argamassa em painéis envelhecidos naturalmente por seis anos e em painéis envelhecidos artificialmente (pelo processo de aceleração da vida útil), pôde-se avaliar, cientificamente, se a argamassa de revestimento apresenta um bom desempenho e durabilidade, ao longo da vida útil dos painéis. Esta discussão será apresentada na Parte III da Tese - Análise dos Resultados, no Item 5.3.

Ao final deste capítulo, denominado Ensaio de Durabilidade, achou-se necessário elaborar um quadro síntese, a fim de relacionar todas as características avaliadas dos bambus nos seguintes estados: bambus *in natura*, bambus não submetidos aos processos de envelhecimento, bambus envelhecidos naturalmente e bambus envelhecidos de maneira acelerada. O Figura 4.61 apresenta de maneira resumida as principais características visuais dos bambus e os resultados obtidos nos ensaios de umidade, densidade, compressão paralelas às fibras, flexão perpendicular às fibras e resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento.

Figura 4.61 – Quadro síntese das características avaliadas nos bambus.

Bambus Caract. avaliadas	Bambus <i>in natura</i>		Bambus não envelhecidos	Bambus envelhecidos naturalmente		Bambus envelhecidos aceleradamente após seis ciclos	
Aspecto visual da argamassa de revestimento	—		Superfície rugosa, com coloração cinza clara e isenta de fissuras	Superfície com presença de fungos, coloração cinza clara, com fissuras entre 0,01 e 0,08 cm		Superfície rugosa e homogênea, isenta de fissuras	
Aspecto visual do bambu	Cloração marrom escura, textura lisa e sem fissuras.		Sem alterações visuais, cor marrom escura, textura lisa com manchas esbranquiçadas pela mineralização.	Apresenta alterações visuais, perda de seção (Ø), rachaduras e presença de fungos.		Sem alterações visuais, sem perda de seção (Ø), tonalidade escurecida (marrom) com partes esbranquiçadas (mineralização)	
Umidade natural média	sem nó	com nó	—	—	—	—	—
	6,5%	6,7%					
Umidade saturada média	sem nó	com nó	—	—	—	—	—
	6,8%	7,6%					
Umidade em equilíbrio com a argamassa de revestimento média	—		—	sem nó	com nó	sem nó	com nó
				5,2%	6,0%	4,0%	6,1%
Densidade natural característica	sem nó	com nó	—	—	—	—	—
	0,80 g/cm ³	0,85 g/cm ³					
Densidade saturada característica	sem nó	com nó	—	—	—	—	—
	1,02 g/cm ³	1,16 g/cm ³					
Densidade seca característica	sem nó	com nó	—	sem nó	com nó	sem nó	com nó
	0,78 g/cm ³	0,68 g/cm ³		0,37 g/cm ³	0,30 g/cm ³	0,62 g/cm ³	0,59 g/cm ³
Resistência à compressão característica	sem nó	com nó	—	sem nó	com nó	sem nó	com nó
	73,30 MPa	64,29 MPa		40,51 MPa	24,61 MPa	55,23 MPa	45,05 MPa
Resistência à flexão característica	sem nó	com nó	—	sem nó	com nó	sem nó	com nó
	90,70 MPa	70,00 MPa		44,01 MPa	31,31 MPa	(*)	(*)
Resistência de aderência à tração da argamassa	—		Tensão ruptura média: 0,54 MPa	Tensão ruptura média: 0,40 MPa		Tensão ruptura média: 0,35 MPa	

(*) Não foi possível medir devido às pequenas dimensões dos painéis e das peças de bambus.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 ANÁLISE DOS ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO PAINEL DE BAMBU E DA HABITAÇÃO ECONÔMICA

5.1.1 Projeto arquitetônico do painel de bambu

Este item apresenta uma análise detalhada sobre o painel de bambu argamassado, proposto no Item 2.1 da presente Tese, dando ênfase à proposta / tipologia arquitetônica, à tecnologia de produção adotada e ao desempenho construtivo dos bambus. As análises foram desenvolvidas nos 9 (nove) itens específicos, a seguir apresentados.

A) Substituição de matriz industrializada por matriz vegetal

O setor da construção civil é o setor que mais consome matéria prima bruta em todas as sociedades. Não só a construção, mas também a demolição, juntas, formam as maiores fontes geradoras de resíduos. O setor também é responsável pelo consumo significativo de energia, água e pela geração de poluentes. Para John *et al* (2001), a transformação dos materiais brutos em bens gera, na maioria das vezes, a necessidade de se transportar os materiais por longas distâncias, exigindo uma quantidade adicional de recursos, ocasionando cargas ambientais significativas. Já os recursos adicionais de manutenção, desmobilização e demolição, representam cargas ambientais que são consumidas após a etapa de construção. Assim, torna-se necessário adicionar, na conta da produção desses materiais, todo o resíduo gerado.

O painel de bambu apresentado no presente trabalho apresenta-se não apenas como proposição arquitetônica do uso dos bambus na arquitetura, mas também como um posicionamento profissional sustentável frente às questões ambientais as quais se tem conhecimento. As vedações verticais das habitações econômicas podem perfeitamente substituir suas matrizes feitas à base de concreto, aço e/ou materiais cerâmicos por matrizes vegetais e naturais como os bambus. A proposição de uso desta matéria prima orgânica, renovável e tropical nas construções econômicas, pode contribuir com uma mudança de paradigma, que prevê a mitigação do uso dos materiais convencionais na construção civil.

B) Matéria-prima renovável

A principal matéria-prima utilizada para a produção dos painéis foi o bambu, da espécie *Bambusa tuldoides*, que é facilmente encontrada em Goiás, possui baixo custo de produção e beneficiamento. Quanto à madeira utilizada como moldura dos painéis de bambu, elegeu-se a espécie *Pinnus sp.*, que, além de ser madeira de reflorestamento, é facilmente encontrada em casas de materiais de construção e possui baixo valor comercial. Com base no exposto, conclui-se que o componente construtivo proposto atende aos requisitos mínimos de sustentabilidade, haja vista que é composto de materiais de baixo impacto ambiental e reduz o consumo de energia para sua produção.

C) Construtibilidade

Optou-se pelo desenvolvimento de um painel de vedação feito com bambus argamassados com sistema de produção simplificado. Todos os materiais, ferramentas e equipamentos utilizados para a produção dos painéis são conhecidos no mercado e facilmente comercializados. O processo de produção dos painéis é de fácil assimilação pela mão de obra, mesmo para os que não possuem experiência no uso dos bambus, o que facilita a contratação e o treinamento de pessoas para a realização dos trabalhos. O baixo peso dos painéis facilita o seu transporte e a sua instalação na edificação.

Uma das inovações apresentadas no projeto arquitetônico dos painéis de bambu, nesta pesquisa, foi à substituição das molduras de bambu pelas molduras de madeira. Nas molduras de bambu utilizadas nos painéis antigos, construídos em 2005, foi registrado certo afastamento entre a estrutura de bambu argamassada e as molduras (Item 4.2.1-A), que acabaram provocando rachaduras e perda da qualidade visual dos bambus. Optou-se, então, pela utilização de madeira de reflorestamento (*Pinnus sp.*) nas molduras dos painéis, por serem mais retílineas (funcionando como um bom esquadro), por possuírem baixo valor comercial e também pelo aspecto de durabilidade, devido às condições de uso dos painéis (vedação externa).

D) Peso específico baixo

A vedação da edificação é feita basicamente de painéis de bambu revestidos com argamassa. Segundo Teixeira (2006), o peso médio de um painel de bambu argamassado com 0,06 cm de espessura é de, aproximadamente, 81 Kg/m². Com esta espessura o painel

de bambu argamassado teria as mesmas funções de uma parede de vedação tradicional feita de tijolos ou blocos cerâmicos.

De acordo com Teixeira (2006), comparando-se o peso dos painéis de bambu argamassados com o peso de uma alvenaria de tijolos maciços (240 Kg/m^2), verifica-se que o painel de bambu é 2,98 vezes mais leve. Em comparação com uma alvenaria de blocos cerâmicos (180 Kg/m^2), o painel de bambu é 2,23 vezes mais leve. Fazendo-se a mesma comparação com uma divisória de gesso acartonado (42 Kg/m^2), apenas para se ter outro parâmetro e reconhecendo que as funções dos painéis não seriam as mesmas, o painel de bambu seria 1,92 vezes mais pesado que a divisória de gesso acartonado. O baixo peso do painel de bambu argamassado se deve ao fato do bambu ser um material oco e leve, com peso específico entre $0,60$ a $1,0 \text{ g/cm}^3$.

O peso específico baixo dos painéis de bambu influencia positivamente nas fundações, sendo que estas podem ser mais simples e mais econômicas, devido à redução das cargas que irão suportar.

E) Estanqueidade à água

Optou-se, neste modelo de painel de bambu, pela aplicação da argamassa de revestimento em ambas as faces, tanto externa como interna. Durante o desenvolvimento do painel ocorreram discussões sobre o uso ou não da argamassa de revestimento, considerando-se os aspectos associados à sustentabilidade, estanqueidade, durabilidade e estética do painel. Por vezes, foi questionada a perda de sustentabilidade do painel, devido ao fato de estar revestido por uma camada de argamassa composta por cimento, areia e aditivos, uma vez que existem discussões positivas e negativas a respeito da sustentabilidade dos materiais à base de cimento Portland (Malhotra e Mehta, 2005; Fisk, 1989).

Segundo Malhotra e Mehta (2005), os cimentos que incorporam adições minerais, resíduos de outros setores produtivos, podem levar a produção de concretos mais duráveis. Desta forma, aumenta-se a sustentabilidade dos materiais cimentícios.

Cabe ressaltar que, ao avaliar o desempenho do painel como vedação vertical da edificação, observou-se que a estanqueidade à água surge como um dos principais problemas a serem resolvidos nos painéis de bambu. Os painéis de bambu feitos com bambus cilíndricos e aparentes, por exemplo, acabam permitindo a entrada de ar, água e

insetos, pois o bambu não possui colmos totalmente retilíneos e nem exatamente cilíndricos, sendo levemente cônicos. Esta falta de padronização dos colmos (matéria prima natural) permite a criação de frestas nos painéis. Por este motivo, justifica-se o uso da argamassa de revestimento sobre os painéis de bambu, priorizando-se o aspecto funcional e, portanto, a durabilidade do elemento construtivo da edificação.

F) Combinação do painel de bambu com outros materiais

Os bambus podem e devem ser combinados com outros materiais, sejam eles sustentáveis ou tradicionais. Para fins de combinação com os bambus, destacam-se materiais como a madeira, o adobe, o concreto e os blocos cerâmicos, bem como a utilização das telhas cerâmicas e esquadrias de alumínio em composição com os bambus. Combinando-se os bambus com outros materiais, é possível criar diferentes composições arquitetônicas, que além de visualmente interessantes, conferem níveis de sustentabilidade aos projetos.

G) Aderência da argamassa de revestimento

O deslocamento da argamassa de revestimento das paredes de vedação é uma das manifestações patológicas mais frequentes nas edificações. Sendo assim, a adoção de procedimentos construtivos que visem à diminuição desta manifestação patológica passou a ser considerada no projeto do painel. Neste sentido, primeiramente, lixou-se a superfície do bambu, com o objetivo de torná-la mais rugosa, estendendo, microscopicamente, a superfície de aderência. Depois, realizou-se a mineralização dos colmos de bambu (Itens 3.1-D e 3.2-D).

A Mineralização, tratamento utilizado para conferir melhor resultado na aderência da argamassa de revestimento aos bambus e também para auxiliar na imunização dos colmos de bambu, é um tratamento feito à base de cimento que, estando diluído em grande quantidade de água, pode ser descartado no solo sem grandes prejuízos ambientais. O cimento é um material de base mineral, alcalino e isento de metais pesados, ao contrário de outros produtos químicos utilizados no tratamento e preservação do bambu.

H) Racionalização da construção

Para a produção dos painéis de bambu argamassados, buscou-se a inserção de um processo tecnológico que tem como base a pré-fabricação dos elementos construtivos. Os

painéis podem ser produzidos em série, com medidas padronizadas, proporcionando uma produção em grande escala para a construção de habitações econômicas. Deste modo, com a produção pré-fabricada em escala industrial, é possível inserir o bambu no mercado de materiais de construção, de maneira competitiva, podendo substituir a madeira e outros materiais convencionais. A repetição dos elementos pré-fabricados leva a uma modulação da arquitetura, facilitando a possibilidade de acréscimo da edificação no futuro. A pré-fabricação do elemento construtivo contribui ainda com a agilidade na construção destas habitações.

I) Durabilidade do bambu

O bambu é um material suscetível à ação do meio ambiente e ao ataque dos microorganismos. De acordo com Liese e Kumar (2003), *apud* Almeida (2010), existem dois fatores bióticos capazes de reduzir a vida útil dos bambus, que são (a) a água e (b) a degradação biológica. Quanto a (a) água, esta contribui enormemente para a degradação do bambu. Os autores observam que a vulnerabilidade do colmo tem relação, entre outros fatores, com o percentual de umidade. Daí a necessidade de seu controle principalmente quando o colmo se destina à construção, pois é em função deste percentual que se define a modalidade do processo de preservação da peça. Com relação a (b) degradação biológica, os autores citados observam que o colmo em contato direto com a umidade do solo tem sua vida útil reduzida, estima-se de 1 a 2 anos, mas se ele tiver protegido, pode alcançar de 4 a 7 anos. Daí a necessidade de aprimorar os processos e técnicas de preservação

Detalhes de projeto do painel e da habitação econômica foram adotados, visando aumentar a durabilidade dos bambus.

Comenta-se popularmente que o bambu, para ter maior durabilidade como material de construção nas edificações, necessita de boas botas e de um bom chapéu. Seguindo o ditado, utilizou-se no projeto da habitação, beirais com largura considerável, capazes de proteger os pilares de bambu e os painéis de vedação da chuva e do sol. Os pilares e os painéis de bambu também são protegidos da umidade do solo, estando fixados sobre viga baldrame de concreto e sobre o contrapiso.

A argamassa de revestimento aplicada sobre o painel de bambu colabora com a durabilidade do elemento construtivo de vedação, protegendo-o dos efeitos climáticos, dos insetos e dos microorganismos, principais responsáveis pela degradação dos bambus.

5.1.2 Projeto arquitetônico da habitação econômica

A habitação econômica de bambu proposta nesta pesquisa (Item 2.2), desenvolvida em nível de estudo preliminar, foi desenvolvida com a tarefa principal de experimentar a aplicação dos painéis de bambu no contexto real de um projeto arquitetônico. Alguns aspectos relativos ao projeto arquitetônico, ao processo construtivo e à sustentabilidade da referida habitação foram discutidos e serão apresentados nos itens a seguir.

A) Edificação de baixo impacto ambiental

O estudo preliminar da habitação econômica feita de bambu utilizou-se basicamente de materiais construtivos de baixo impacto ambiental e social, que possuem baixo custo de mercado e consomem pouca energia para produção e beneficiamento.

Outro aspecto relevante associado à sustentabilidade é o baixo peso específico da edificação, que se utiliza de painéis de vedação feitos de bambu, com peso significativamente inferior ao peso dos blocos cerâmicos. Este fato pode influenciar positivamente na economia com os gastos relativos à fundação, e, conseqüentemente, com a diminuição do consumo de materiais tradicionais como o cimento e o aço, conferindo maiores níveis de sustentabilidade ao projeto.

Dentro do contexto da sustentabilidade das construções, buscou-se ainda salientar a importância do profissional da construção estar bem preparado e informado para eleger materiais de baixo impacto ambiental nas construções, como o uso dos bambus, que podem ser empregados de diversas maneiras nas construções.

B) Autoconstrução

A simplicidade construtiva dos painéis de bambu pré-fabricados é estendida a todos os outros componentes construtivos da habitação econômica feita de bambu. O processo construtivo simplificado contribui para a autoconstrução (ou mutirão) de casas econômicas, pois é facilmente assimilado pela população, mesmo que sem experiência em construções com bambu, sendo necessário apenas seguir as exigências especificadas nos projetos arquitetônicos das habitações. Complementa-se com o pensamento de Sachs (2009), que diz que a autoconstrução assistida deveria se tornar o eixo de uma dinâmica desenvolvimentista na urbanização das cidades.

C) Revestimento de fachadas

Após a fixação dos painéis de bambu na edificação, estes são revestidos por uma matriz cimentícia (argamassa de revestimento), com a finalidade de vedar todas as frestas existentes entre os bambus, conferir maior estanqueidade a estas paredes, dar maior segurança estrutural ao conjunto e aumentar a durabilidade do bambu.

As faces argamassadas dos painéis, depois de secas, podem receber todo o tipo de pintura ou revestimento, tanto na face externa como interna, conferindo à construção maiores possibilidades de composição arquitetônica.

D) Mediação entre o homem e o meio

Na visão de Romero (2007), a arquitetura bioclimática é uma forma de desenho lógico que reconhece a persistência do existente, é culturalmente adequada ao lugar e aos materiais locais e utiliza a própria concepção arquitetônica como mediadora entre o homem e o meio.

A utilização de um material natural como o bambu na construção de habitações econômicas visa valorizar as bases locais, regionais e culturais do lugar. O emprego desta planta permite a adequação da arquitetura ao regionalismo, sendo o bambu conhecido e querido de norte a sul do país, apesar do pouco conhecimento científico que se tem sobre suas potencialidades construtivas. Esta planta se adapta com facilidade nos solos de todas as regiões brasileiras e contribui de maneira positiva no resgate de gás carbônico da atmosfera. Os bambus podem substituir com vantagens e segurança as estruturas de madeira tradicionalmente utilizadas nas construções, cumprindo o mesmo papel e conferindo maiores níveis de sustentabilidade ao projeto.

É importante reconhecer a persistência do existente e propor novas possibilidades do fazer arquitetônico. Inseriu-se no contexto do projeto da casa de bambu uma nova possibilidade do fazer arquitetônico, reconhecendo a cultura de morar existente (a casa rebocada, os beirais e as varandas), porém introduzindo um novo olhar, referente ao uso de materiais não convencionais (de baixo impacto ambiental) e novas possibilidades estéticas de composição arquitetônica.

E) Conforto Térmico

A norma de desempenho NBR 15.575 (ABNT, 2008) - Edificações Habitacionais: Desempenho - foi revisada e passou a vigorar desde julho de 2013, devendo ser aplicada a todos os edifícios habitacionais construídos no Brasil. A referida norma, diferentemente da versão anterior, é mais abrangente e contempla projetos habitacionais de qualquer porte.

Com relação às exigências de desempenho térmico e acústico para as habitações econômicas, observa-se que estes requisitos ocupam uma posição importante no documento.

Quanto às exigências de desempenho ligadas ao conforto térmico, a NBR 15.575 (ABNT, 2013) estabelece que as edificações devem reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico das habitações econômicas, considerando-se as zonas bioclimáticas definidas na NBR 15.220 (ABNT, 2005) – Desempenho Térmico das Edificações.

A habitação econômica de bambu projetada para o município de Anápolis – GO, apresentada no Item 2.2, encontra-se inserida na Zona Bioclimática Brasileira 6, de acordo com as diretrizes da NBR 15.220-3 (ABNT, 2005). Alguns aspectos relativos ao conforto térmico foram levados em conta no desenvolvimento do projeto arquitetônico, destacando-se entre eles a observância do clima local; o posicionamento da casa em relação à orientação solar; o dimensionamento das aberturas em função da área de piso do ambiente, variando entre 15 e 25% da área total; a busca por iluminação e ventilação natural, dentre outros.

Segundo Frota e Schiffer (2003), o conhecimento das exigências humanas de conforto térmico e do clima, associado ao conhecimento das características térmicas dos materiais proporciona condições para se projetar edifícios e espaços urbanos cuja resposta térmica atenda às exigências de conforto térmico. Desta forma é possível evitar ou reduzir os sistemas de condicionamento artificial de ar, quer com a finalidade de refrigerar, quer com a de aquecer os ambientes.

De acordo com Siqueira *et al* (2005), o desempenho térmico de edificações é um fator determinante em habitações, principalmente em habitações de interesse social, que são

destinadas à população de baixa renda. Uma edificação projetada levando-se em conta o clima local potencializa o conforto dos usuários e gera economia de energia.

Durante o desenvolvimento da presente Tese, pesquisou-se o comportamento térmico dos painéis de bambu produzidos no ano de 2005 e expostos ao intemperismo pelo período de seis anos. A metodologia empregada na pesquisa baseou-se na comparação entre os resultados de desempenho térmico obtidos nos painéis de bambu argamassados com os resultados obtidos de outros elementos construtivos convencionais de vedação, como concreto com entulho de obra e demolição, tijolos maciços revestidos nas duas faces, tijolos de seis furos revestidos de argamassa nas duas faces e bloco de concreto. Os cálculos foram desenvolvidos com base na NBR 15220-2 - (ABNT, 2005), onde foram avaliados os critérios de resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar dos elementos e componentes de vedação citados acima.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, sendo que o painel de bambu apresentou o maior atraso térmico de calor específico (de 3,9 horas) em comparação com os outros sistemas de vedação vertical estudados, dando evidências de que possui propriedades relevantes para o conforto térmico das edificações. Os resultados obtidos são apresentados no Anexo 1 da pesquisa. As pesquisas iniciais relacionadas ao conforto térmico são citadas no Capítulo 6 como sugestão para trabalhos futuros, devendo ser desenvolvidas com maior profundidade em um futuro breve. Foi sugerido também o estudo dos aspectos de conforto acústico dos painéis de bambu, relevantes para o conforto ambiental das habitações econômicas.

5.2 A INFLUÊNCIA DO NÓ NAS AVALIAÇÕES DE UMIDADE E DENSIDADE DOS BAMBUS *IN NATURA*

O estudo das propriedades físicas dos bambus é de grande importância, já que a umidade e a densidade influenciam nas propriedades mecânicas, além de influenciar também na durabilidade deste material. Neste item observou-se as variações de umidade e densidade da parte mediana de colmos da espécie *Bambusa tuldoide in natura*, sem nó e com nó. As avaliações de umidade foram feitas em amostras nas condições natural (seca ao ar) e saturada. As avaliações de densidade foram feitas em amostras nas condições natural (seca ao ar), saturada e seca.

5.2.1 Umidade

Os resultados de umidade natural média obtidos nas amostras de bambu *in natura* (apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2) mostram que a umidade nas amostras com nó é levemente superior às amostras sem nó. Na Figura 5.1 verifica-se que as amostras com nó registraram 3,1% a mais de umidade do que as amostras sem nó.

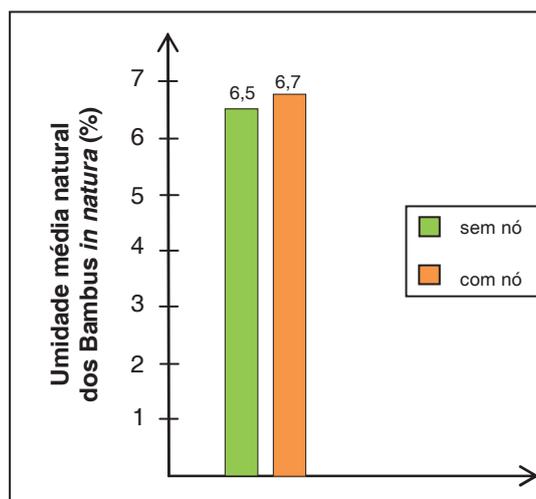


Figura 5.1: Comparação dos resultados de umidade natural média dos bambus *in natura*, sem nó e com nó.

No que se refere aos valores de umidade obtidos nas amostras estudadas, verifica-se que a umidade é inferior ao intervalo de 10 a 15% de umidade apresentado por Beraldo *et al* (2003). No entanto, os autores não especificaram a espécie de bambu estudada e, ainda, comentaram que estes valores são influenciados pela espécie e pela espessura das paredes dos colmos.

Avaliando-se os resultados de umidade dos bambus *in natura* submetidos à saturação (Tabelas 4.3 e 4.4), é possível afirmar que a umidade nas amostras com nó foi maior do que nas amostras sem nós, com 11,8% a mais de umidade. A Figura 5.2 apresenta a comparação entre as amostras de bambu *in natura* saturadas, sem nó e com nó.

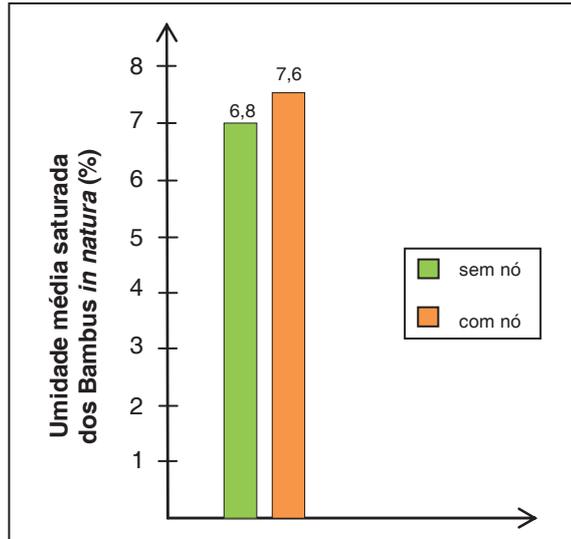


Figura 5.2: Comparação dos resultados de umidade de saturação média dos Bambus *in natura*, sem nó e com nó.

A Figura 5.3 apresenta, em conjunto, os valores de umidade média obtidos nos experimentos, com resultados de umidade natural e saturada dos bambus *in natura*.

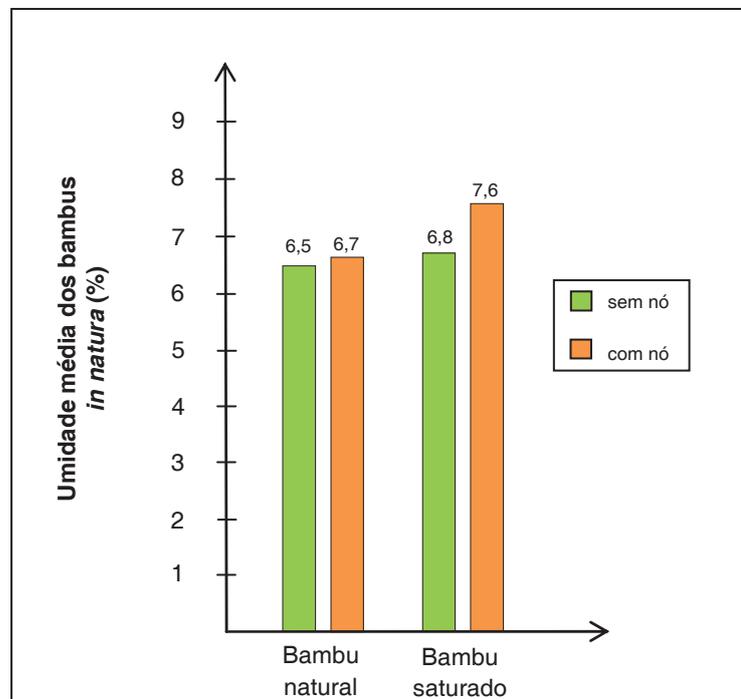


Figura 5.3: Comparação dos resultados de umidade média dos bambus *in natura*, nas condições natural e saturada.

Analisando-se os valores de umidade natural e saturada dos bambus *in natura*, pode-se verificar que as amostras sem nó absorveram menos água, ao se saturarem, do que as amostras com nó, registrando aumentos respectivos de 4,6 % e 13,4 %.

Para Beraldo e Pereira (2008), na parte superior do nó, onde os vasos são mais largos, ocorre o transporte mais eficiente de água e dos nutrientes. Na área nodal, vários tipos de células se diferem consideravelmente das células do entrenó. Geralmente tais células são muito mais curtas, pequenas e, freqüentemente, encontram-se deformadas. A representação da estrutura tridimensional do sistema vascular presente na região nodal e o arranjo dos feixes vasculares são apresentados na Figura 5.4.

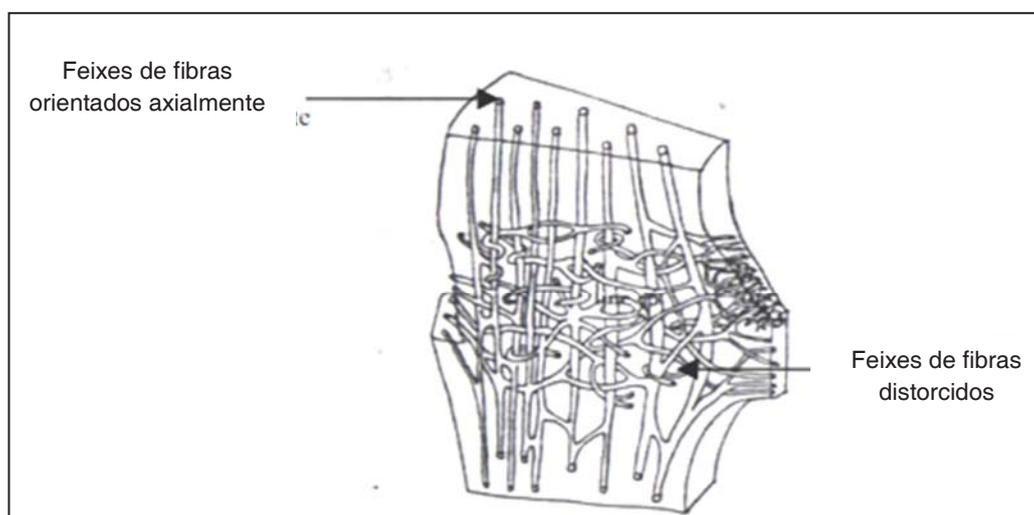


Figura 5.4: Distribuição dos feixes vasculares na região nodal (LIESE, 1998).

De acordo com os resultados apresentados anteriormente, observa-se que as amostras de bambu na região nodal, tanto no estado natural quanto no saturado, absorvem mais água, aumentando a umidade nas amostras com nós. Desta forma, pode-se concluir que esta região apresenta maior quantidade de vazios, os quais foram capazes de absorver mais água do que as amostras sem nó. Este dado não coincide com a afirmação de Grosser e Liese (1971), de que os entrenós apresentam maior teor de umidade que os nós.

5.2.2 Densidade

Com relação à densidade dos bambus *in natura*, foram realizadas avaliações de densidade natural (Tabelas 4.5 e 4.6), densidade saturada (Tabelas 4.7 e 4.8) e densidade seca em estufa (Tabelas 4.9 e 4.10). Todas as densidades foram avaliadas a partir de corpos de

prova sem nó e com nó, adotando-se os valores característicos. A Figura 5.5 apresenta os resultados das referidas densidades.

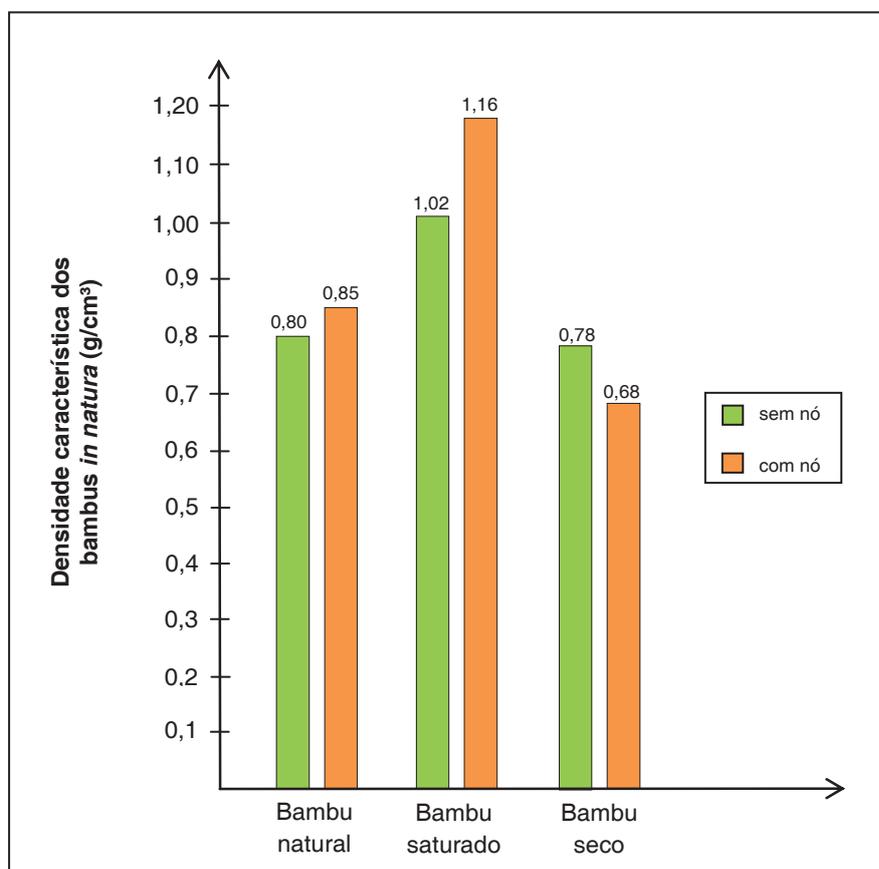


Figura 5.5: Comparação dos resultados de densidade característica dos bambus *in natura*, nas condições natural, saturada e seca.

As densidades medidas na presente pesquisa estão de acordo com as densidades citadas na literatura por Schniewind (1989), *apud* Beraldo *et al* (2003), que afirmam que os valores médios de densidade de diferentes espécies de bambu situam-se de 0,60 a 1,00 g/cm³, dependendo do local da amostragem, da umidade e da idade do colmo. Janssen (2000) comenta que a massa específica é a propriedade física que mais influencia as propriedades mecânicas, sendo que para a maioria dos bambus seu valor situa-se em torno de 0,7 a 0,8 g/cm³. Liese (2008) complementa, situando os valores de densidade entre 0,5 a 0,8 g/cm³.

Por meio da comparação dos resultados apresentados na Figura 6.5, observa-se que nos estados natural e saturado, as amostras com nó possuem densidades mais elevadas do que as amostras sem nó. Nota-se que há um aumento da densidade nas amostras com nó, em relação às sem nó, com porcentagens de 6,25 % na densidade natural e 13,72 %, na densidade saturada.

Liese (1998) comenta que a região nodal é mais densa do que as demais regiões do colmo devido à maior interligação entre vasos e fibras e, conseqüentemente, pode ocorrer nessa região um maior empacotamento dos elementos anatômicos. Sharma & Mehra (1970), *apud* Lopez (2003), afirmam que embora a região dos nós apresente massa específica aparente mais elevada do que a região dos internós, suas resistências à flexão, à compressão e ao cisalhamento são inferiores. Devido à descontinuidade da seção e ao desvio dos feixes de fibras na região nodal, observa-se nos nós uma redução em todas as propriedades de resistência em relação ao colmo do bambu.

Os autores anteriormente citados relatam que a densidade da região nodal é maior do que a densidade dos entrenós. No entanto, os autores não comentam em que estado de saturação encontram-se as amostras de bambu avaliadas. Levando em consideração os resultados da Figura 5.5, acredita-se que os referidos autores mediram as densidades dos bambus, em amostras nos estados natural ou saturado. Analisando ainda os resultados da Figura 5.5, verifica-se que, quando o bambu encontra-se no estado seco, a densidade da região nodal passa a ser 12,82% menor do que a densidade dos entrenós. Acredita-se que isto ocorra devido à saída de água e seiva dos espaços vazios dos feixes vasculares, o que diminuiria a massa das amostras, mantendo-se o volume das mesmas e, por consequência, diminuindo a densidade da região nodal.

Zhou (2000), trabalhando com diversas espécies, afirma que a massa específica dos bambus depende do conteúdo de fibra, do seu diâmetro interno, da espessura da parede celular, sendo que ao longo do colmo e entre espécies, diferenças são observadas.

O bambu é um material que tem baixa massa específica e uma alta resistência mecânica. Essa relação diferencia o bambu dos outros materiais estruturais. O bambu deixa a estrutura mais leve. O peso próprio de estruturas feitas com material mais denso, como o concreto, torna-se uma parcela considerável no carregamento geral da edificação.

A densidade seca também será parâmetro de discussão para a vida útil dos bambus inseridos nos painéis argamassados (Item 6.3), uma vez que as densidades diminuiriam após os processos de envelhecimento natural e acelerado, denotando que ocorreu degradação interna dos colmos de bambu.

5.3 DESEMPENHO E VIDA ÚTIL DOS BAMBUS INSERIDOS EM PAINÉIS ARGAMASSADOS APÓS ENVELHECIMENTO NATURAL E ACELERADO

Neste item são apresentadas análises comparativas entre os resultados de desempenho físico e mecânico de bambus *in natura* e bambus inseridos em painéis argamassados não submetidos a processos de envelhecimento, em relação aos bambus inseridos em painéis que sofreram envelhecimento natural e acelerado.

Por meio de análises comparativas e estatísticas foi possível desenvolver uma discussão sobre o desempenho dos painéis de bambu argamassados e sobre a estimativa da vida útil deste componente construtivo. Os bambus foram avaliados a partir dos resultados de densidade (5.3.1), de compressão paralela às fibras (5.3.2), de flexão perpendicular às fibras (5.3.3) e de aderência à tração da argamassa de revestimento (5.3.4).

5.3.1 Densidade

Com relação à densidade, foram confrontados os resultados de densidade seca característica dos bambus nos seguintes estados: bambu *in natura*, bambu envelhecido naturalmente e bambu envelhecido aceleradamente. As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam os referidos resultados, para amostras de bambu sem nó e com nó.

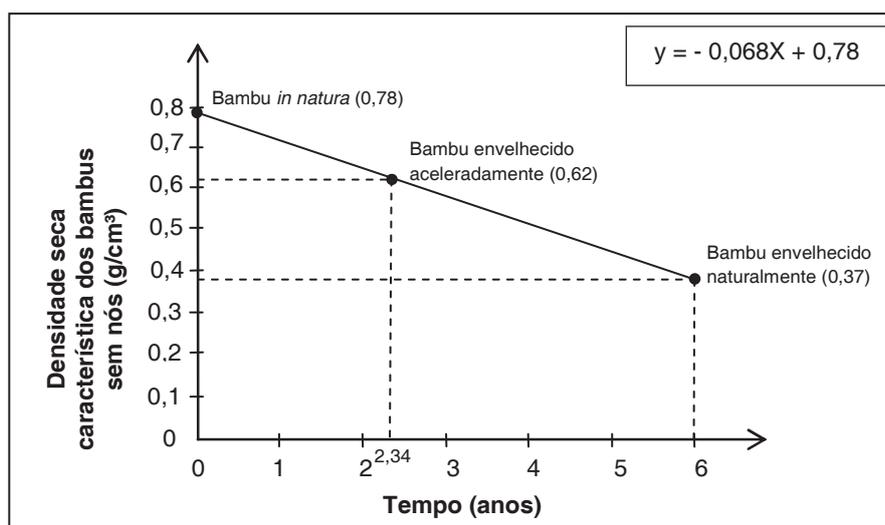


Figura 5.6: Relação linear entre a densidade seca característica dos bambus *in natura*, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente, sem nó.

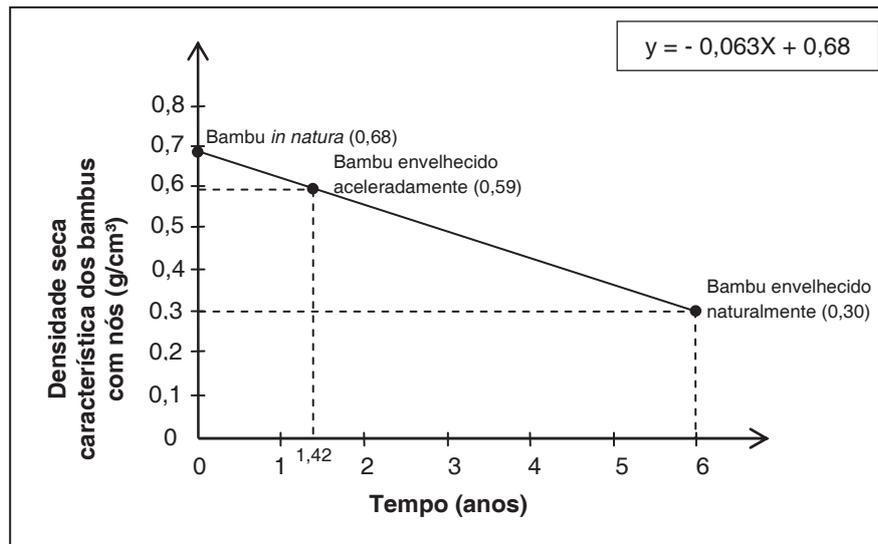


Figura 5.7: Relação linear entre a densidade seca característica dos bambus *in natura*, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente, com nó.

Comparando-se os resultados de densidade seca característica nas amostras de bambus apresentadas nas Figuras 5.6 e 5.7, pode-se observar que, ao contrário do que ocorreu na densidade natural e saturada dos bambus *in natura* (Figura 5.5), onde as densidades com nó eram superiores às densidades sem nó, neste caso, após os processos de envelhecimento, as amostras sem nó passaram a ter densidade mais elevada. Após a perda de umidade, criam-se vazios na região nodal e a densidade desta região diminui em proporções maiores que a região sem nó. Este fato foi observado em todas as amostras de bambu seco sem nó, nos três estados de bambus estudados (*in natura*, envelhecido naturalmente e envelhecido aceleradamente).

Levando em consideração um comportamento linear ($y = ax + b$) entre o tempo e a densidade seca característica dos bambus sem nó (Figura 5.6), representado pela equação matemática ($y = -0,068x + 0,78$), pode-se dizer que o processo de envelhecimento acelerado proposto (seis ciclos) representou 2,34 anos de envelhecimento natural. No caso do bambu com nó (Figura 5.7), o comportamento linear do tempo em relação a densidade seca é representado pela equação ($y = -0,063x + 0,68$). Neste caso, os seis ciclos de envelhecimento acelerado corresponderam a 1,42 anos de envelhecimento natural.

Por meio das expressões encontradas é possível fazer previsões de perda de densidade devido ao envelhecimento natural do bambu sem ou com nó, revestido pela argamassa cimentícia, bem como realizar ensaio acelerado de curto prazo para simular a perda de densidade devido ao processo de envelhecimento natural de longo prazo.

As Figuras 5.6 e 5.7 mostram que existiu diminuição da densidade seca característica após os processos de envelhecimento natural e acelerado, tanto nas amostras sem nó como nas amostras com nó. Esta diminuição está associada à degradação dos colmos de bambu, como foi evidenciado nas avaliações dos aspectos visuais dos bambus submetidos a processos de envelhecimento (Itens 4.3 e 4.4), à diminuição da seção dos bambu envelhecidos naturalmente (Item 4.4) e na diminuição das propriedades mecânicas apresentadas e discutidas nos Itens 5.3.2, 5.3.3 e 5.3.4.

5.3.2 Compressão paralela às fibras

Foram realizados ensaios de compressão paralela às fibras em amostras de bambu sem nó e com nó, retiradas de painéis argamassados e submetidos a processos de envelhecimento natural e acelerado. Os resultados obtidos foram confrontados com os resultados de resistência à compressão paralela às fibras dos bambus *in natura* e podem ser observados nas Figuras 5.8 e Figura 5.9.

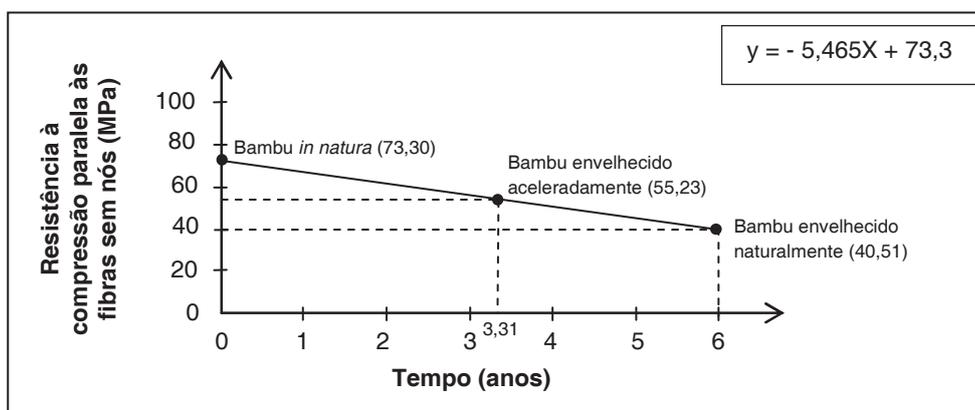


Figura 5.8: Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras dos bambus sem nós, nos estados *in natura*, envelhecido naturalmente e envelhecido aceleradamente.

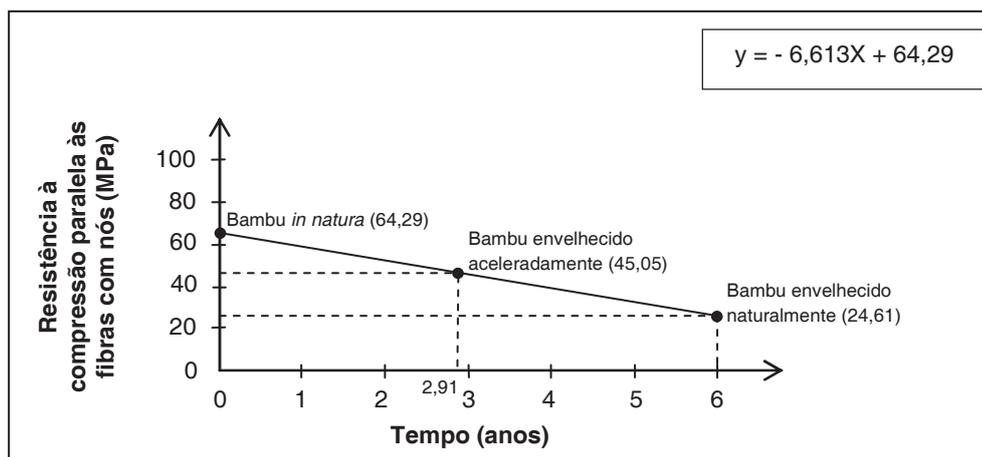


Figura 5.9: Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras dos bambus com nós, nos estados *in natura*, envelhecido naturalmente e envelhecido aceleradamente.

Vários estudos relacionados às resistências mecânicas dos bambus, de diferentes espécies, já foram realizados. Nas pesquisas de Beraldo *et al* (2003), a resistência à compressão dos bambus situam-se na faixa de 20 a 120 MPa. De acordo com Carvalho (2004), valores médios de 67 MPa foram obtidos em ensaios de compressão para a espécie *Bambusa tuldoides*, enquanto que Nascimento (2002) obteve o valor de 75 MPa para a mesma espécie. Portanto, os valores obtidos nos ensaios desta pesquisa, na ordem de 64 a 73 MPa, estão bem próximos da maioria dos resultados publicados na literatura. Por outro lado, Ghavami (1990) obteve valores médios de resistência à compressão de colmos cilíndricos da espécie *Bambusa tuldoides*, variando entre 30 a 38 MPa, os quais são valores inferiores aos obtidos na presente pesquisa.

Levando-se em consideração uma relação linear entre o tempo e a resistência à compressão dos bambus estudados, nota-se que as resistências mecânicas dos bambus (sem nó e com nó) submetidos aos processos de envelhecimento natural e acelerado, decresceram com o passar dos anos, sendo que, no período de 6 (seis) anos, houve uma perda de 44,74 % para amostras sem nó e 61,72% para amostras com nó.

Para Liese (1987), a durabilidade dos colmos depende das condições climáticas e do ambiente onde ele é utilizado. Bambus não tratados, expostos ao tempo e em contato com o solo, podem durar em média de 1 a 3 anos. Das peças protegidas das intempéries, pode-se esperar que durem entre 4 a 7 anos, mas estando em condições favoráveis, os bambus podem permanecer em bom estado de conservação por média de 10 a 15 anos.

As perdas de resistência constatadas podem ser consideradas como significativas para o período avaliado. Porém, levando-se em consideração que os bambus estavam inseridos em painéis argamassados, alguns aspectos importantes devem ser avaliados. O primeiro aspecto trata dos valores característicos de resistência à compressão obtidos após o envelhecimento natural, de 40,51 MPa (sem nó) e 24,61 MPa (com nó). Os valores obtidos são equivalentes, por exemplo, aos valores de resistência à compressão de concretos convencionais, que estão situados na faixa de 20 a 30 MPa. Nesta mesma linha de raciocínio, a NBR 15.270-1 (ABNT, 2005) e a NBR 7170 (ABNT, 1983), que tratam dos blocos cerâmicos e dos tijolos cerâmicos maciços para a alvenaria, respectivamente, estabelecem que estes elementos, empregados como matriz da alvenaria tradicional de vedação, devem possuir uma resistência mínima à compressão de 1,5 MPa. Levando em consideração a parte menos resistente do colmo do bambu, que obteve uma resistência à compressão de 24,61 MPa (com nó), e levando em consideração um comportamento linear entre o tempo e esta propriedade, seriam necessários 9,49 anos de envelhecimento natural para que o bambu inserido na matriz cimentícia atingisse o parâmetro normativo de 1,5 MPa para elementos de vedação cerâmicos.

Deve-se considerar que os colmos de bambus não atuam de maneira isolada no painel de vedação, estando inseridos em uma matriz cimentícia rígida e bem aderidos a ela, como comprovam os ensaios de aderência à tração da argamassa de revestimento desta pesquisa (ver Quadro 4.1). A argamassa de revestimento, além de proteger os bambus de fechamento dos efeitos do clima e dos microorganismos, confere maior estabilidade estrutural aos painéis, contribuindo com o bom desempenho do componente construtivo de vedação vertical.

Avalia-se também a questão da durabilidade dos bambus estudados, nas condições apresentadas. É importante salientar que os colmos de bambus não receberam um tratamento imunizante eficaz antes de serem inseridos nos painéis argamassados. Os colmos foram secos ao ar na posição vertical, por um período de 60 (sessenta) dias, em local protegido do sol e da umidade, e também foram Mineralizados.

A Mineralização exerceu papel importante na aderência da argamassa de revestimento ao painel de bambu, criando microâncoras superficiais entre a argamassa e as paredes lixadas dos colmos de bambu (processo descrito nos Itens 3.1-D e 3.2-D). Do ponto de vista da imunização, a Mineralização contribuiu de maneira secundária. É possível que a elevada alcalinidade da matriz cimentícia, devido à presença dos hidróxidos de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), de

sódio (Na(OH)) e de potássio (K(OH)), crie um ambiente desfavorável à proliferação de microorganismos nos colmos (Teixeira, 2006). Após as avaliações referentes à perda de resistência mecânica do material estudado, conclui-se que é conveniente submeter os colmos de bambu a tratamentos imunizantes à base de produtos químicos (como exemplo o ácido bórico), antes de serem utilizados na produção dos painéis de vedação vertical argamassados.

Outro importante aspecto de discussão é a relação linear estabelecida entre os processos de envelhecimento natural e envelhecimento acelerado, aos quais foram submetidos os painéis de bambu. Por meio da função matemática linear empregada, que considera os valores de resistência a compressão dos bambus *in natura*, envelhecidos naturalmente e aceleradamente, foi possível estimar a resistência à compressão em relação ao tempo, criando parâmetros de previsão da vida útil para os painéis de bambu argamassados. As relações lineares de tempo *versus* a resistência à compressão (Figuras 5.8 e 5.9) apontaram para a eficácia da metodologia empregada no processo de aceleração do envelhecimento da vida útil dos bambus (processo artificial, baseada na NBR 13.554/96 para Solo-Cimento – Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem), que corresponderam a 3,31 anos de envelhecimento natural acelerado para os bambus sem nós e 2,91 anos de envelhecimento natural para bambus com nó.

Para Ghavami (1989), Beraldo e Zoulalian (1995), Janssen (2000), Liese (2000) e Lopez (2003), o principal inconveniente na determinação das características mecânicas dos colmos de bambu tem sido a inexistência de uma padronização ou de uma normatização dos ensaios, o que tem levado à tendência de que cada pesquisador adote sua própria metodologia, o que torna difícil a comparação entre os resultados obtidos. Valores dependem de vários parâmetros inerentes a cada espécie, tais como a razão entre as dimensões características, a amostragem, a procedência, a umidade do bambu e, sobretudo, a idade do colmo.

Beraldo e Pereira (2008) complementam, afirmando que a avaliação das características mecânicas dos bambus não é uma tarefa simples. Traçando-se um paralelo com os estudos de caracterização mecânica da madeira, pode-se afirmar que, no caso do bambu, nem sempre os procedimentos prescritos pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997), podem ser diretamente aplicados.

5.3.3 Flexão perpendicular às fibras

Os ensaios de flexão perpendicular às fibras foram realizados em colmos de bambu sem nó e com nó, que foram retirados de painéis de bambu argamassados envelhecidos naturalmente. Os resultados obtidos foram confrontados com os resultados de flexão perpendicular às fibras dos bambus *in natura* e podem ser observados nas Figuras 5.10 e Figura 5.11.

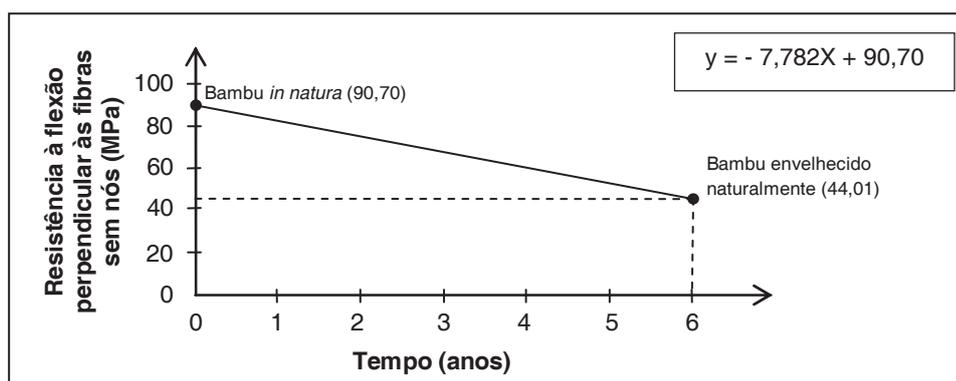


Figura 5.10: Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus sem nós, nos estados *in natura* e envelhecido naturalmente.

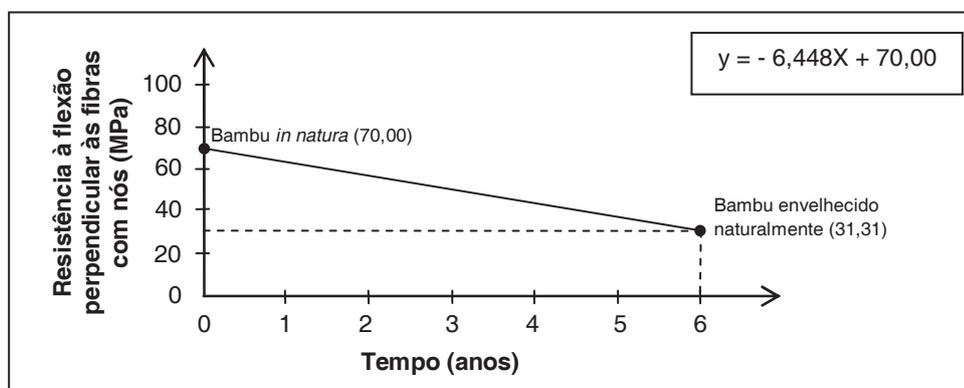


Figura 5.11: Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras dos bambus com nós, nos estados *in natura* e envelhecido naturalmente.

Para Beraldo *et al* (2003), os valores de resistência à flexão de maneira geral para os bambus situam-se na faixa entre 30 e 170 MPa. Os valores descritos se equivalem aos resultados obtidos nesta pesquisa, onde os valores característicos encontrados estão na faixa entre 70 e 91 MPa. Os resultados de resistência à flexão apresentados por Ghavami (1990), para a espécie *Bambusa tuldooides* no estado natural, são parcialmente equivalentes

aos obtidos nesta pesquisa, sendo de 86,50 MPa para as amostras sem nó (90,70 MPa na pesquisa) e 100,00 MPa para amostras com nó (70,00 MPa na pesquisa).

Ao analisar a relação linear estabelecida entre os resultados de resistência à flexão dos bambus estudados e o tempo (Figuras 5.10 e 5.11), observa-se que as resistências mecânicas dos bambus envelhecidos naturalmente apresentaram um decréscimo significativo com o passar dos anos, com perdas registradas de 51,48 % e 55,27 %, respectivamente, para amostras sem nó e com nó.

As perdas de resistência à flexão, constatadas nos bambus envelhecidos naturalmente, podem ser consideradas significativas para o período de tempo avaliado. Mesmo considerando a perda de resistência à flexão perpendicular às fibras durante o período de seis anos de envelhecimento do painel argamassado, observa-se que os valores obtidos de 44,01 MPa (amostras sem nó) e de 31,31 MPa (amostras com nó) são elevados quando comparados com outros materiais tradicionais.

O comportamento à flexão dos colmos de bambu, analisados como um todo ou de maneira segmentada, é muito importante para a realização de análises estruturais em estruturas de bambu. Vários trabalhos já foram e continuam sendo desenvolvidos para estabelecer este tipo de resistência. Porém, observa-se que existe uma grande variação dos resultados obtidos, mesmo para uma mesma espécie de bambu. A grande variação deve-se não apenas a própria heterogeneidade do bambu, mas também pode ser causada pelas diferentes metodologias adotadas para a realização dos ensaios.

5.3.4 Aderência à tração da argamassa de revestimento

Uma das principais manifestações patológicas observadas nos painéis de bambus argamassados, em situação real de uso, como observado na Colômbia, é o deslocamento de partes da argamassa de revestimento. Estes fragmentos de argamassa conferem perda de desempenho ao componente construtivo, permitindo a entrada de umidade e ar, além da diminuição do desempenho estético do painel. A Figura 5.12 apresenta uma relação entre os resultados obtidos em um painel que não sofreu processo de envelhecimento com os resultados de resistência de aderência obtidos em painéis envelhecidos naturalmente e aceleradamente.

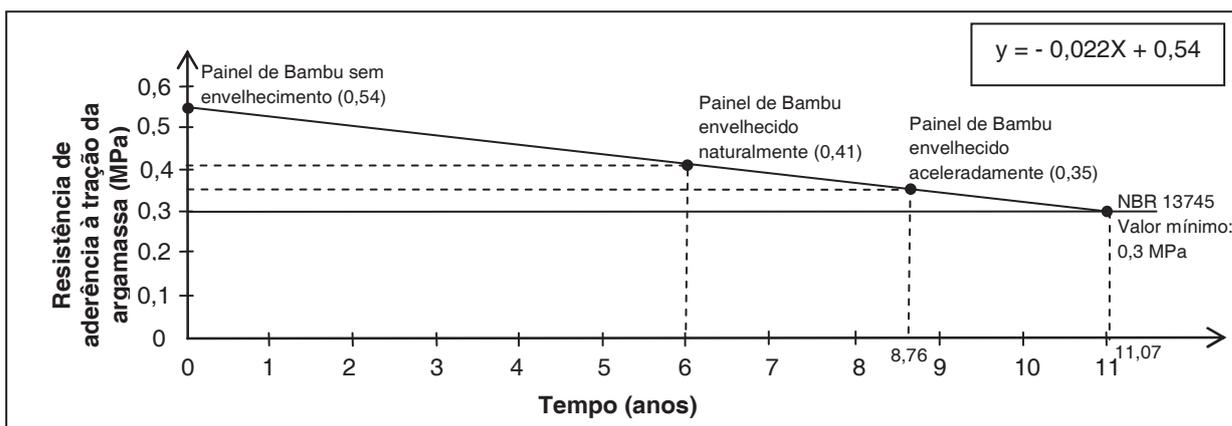


Figura 5.12: Relação linear entre o tempo e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento, em painéis de bambu não envelhecidos, envelhecidos naturalmente e envelhecidos aceleradamente.

Levando em consideração uma relação linear entre o tempo e a resistência de aderência à tração da argamassa, representada pela Equação ($y = -0,022x + 0,54$), e considerando que a NBR 13.749 (ABNT, 1996) estabelece um valor mínimo aceitável de 0,30 MPa para a resistência de aderência, é possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a aderência da argamassa ao painel atingirá o valor mínimo de 0,3 MPa. O uso da referida equação também informa que o processo de envelhecimento acelerado proposto (6 ciclos de molhagem e secagem) é equivalente a 8,77 anos de envelhecimento acelerado.

5.3.5 Relação entre a densidade e as propriedades mecânicas do bambu

Segundo Callister Jr. *et al* (2002), para a maioria dos materiais sólidos, quanto maior a densidade, maiores são suas resistências mecânicas. De acordo com Shimakura (2002), obtido o coeficiente de correlação e o valor numérico, pode-se interpretar o grau de correlação entre as variáveis, conforme mostrado na Figura 5.13. Cada interpretação depende do contexto avaliado. Ressalta-se também que a referida figura apresenta interpretações que são utilizadas na Matemática. No entanto, uma interpretação fraca ou moderada pode significar bons e até ótimos resultados para a Engenharia.

Figura 5.13 - Interpretação dos valores do coeficiente de correlação (r).

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00 a 0,19	Uma correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Uma correlação fraca
0,40 a 0,69	Uma correlação moderada
0,70 a 0,89	Uma correlação forte
0,90 a 1,00	Uma correlação muito forte

Fonte: SHIMAKURA (2002).

Na Figura 5.14 apresenta-se uma correlação linear entre a densidade seca característica e a resistência à compressão característica, em amostras sem nó e com nó. Ressalta-se que as densidades e as resistências à compressão dispostas na referida figura são relativas ao bambu nos estados *in natura*, envelhecidos naturalmente e envelhecidos de maneira acelerada.

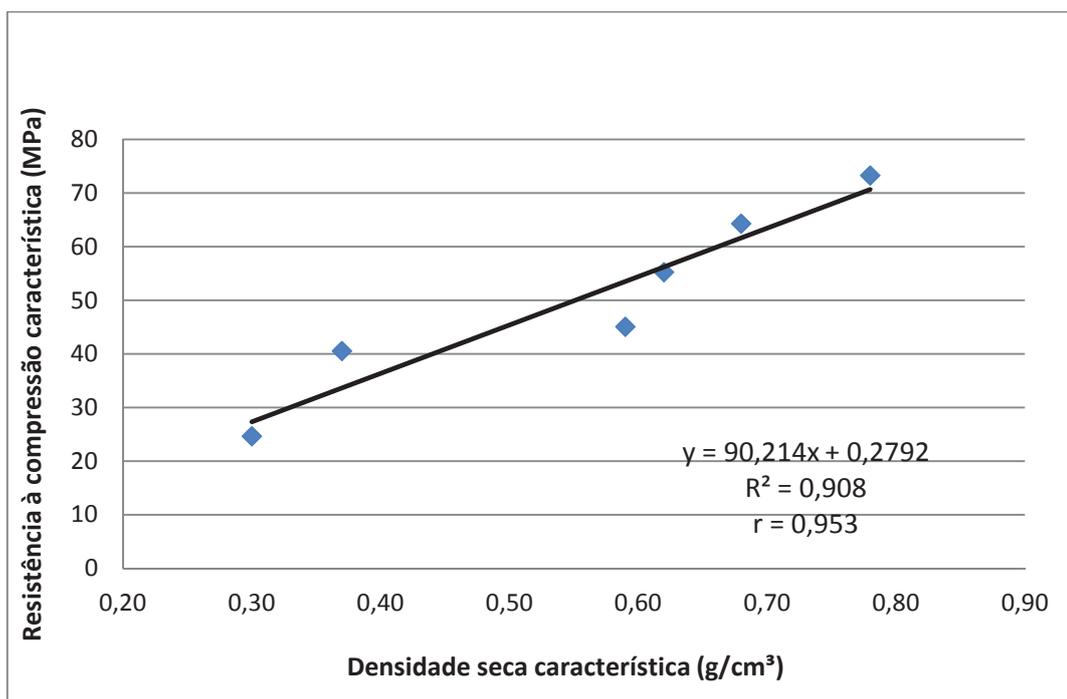


Figura 5.14: Correlação linear entre a densidade seca característica e a resistência à compressão em amostras sem nó e com nó.

A Figura 5.14 mostra que existe uma relação linear (representada pela Equação $y = 90,214x + 0,2792$) entre a densidade seca característica e a resistência à compressão característica dos bambus, sem e com nós. De acordo com a Figura 5.13, observa-se que

valores de coeficiente de correlação (r) são maiores do que 0,9 representando uma correlação muito forte entre as variáveis avaliadas. O coeficiente de correlação obtido na regressão linear da Figura 5.14 foi de 0,953, mostrando que é possível prever a resistência à compressão característica do bambu com base na sua densidade seca característica, e vice-versa.

A Figura 5.15 mostra a relação linear entre a densidade seca característica e a resistência à flexão característica dos bambus estudados, em amostras sem nó e com nó. As densidades e as resistências à flexão dispostas na referida Figura são relativas ao bambu nos estados *in natura*, envelhecidos naturalmente e envelhecidos de maneira acelerada.

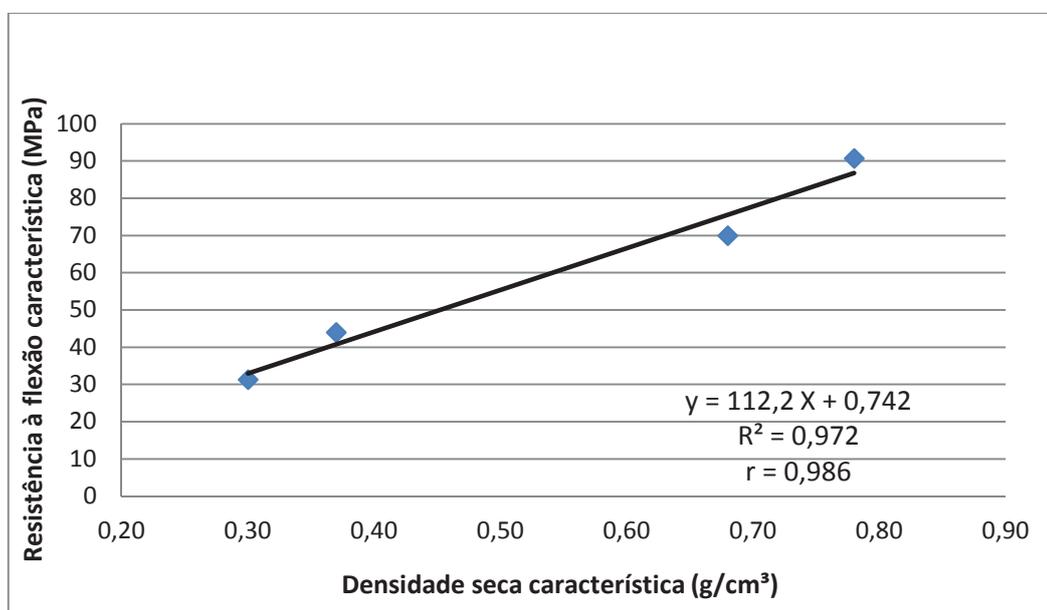


Figura 5.15: Correlação linear entre a densidade seca característica e a resistência à flexão em amostras sem e com nó.

O valor do coeficiente de correlação ($r = 0,986$) apresentado na Figura 5.15 foi superior a 0,9, o que representa uma correlação muito forte entre as variáveis. Assim, mostra-se que é possível prever a resistência à flexão característica do bambu com base na sua densidade seca característica, e vice-versa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente Tese teve como principais objetivos a aplicação dos bambus na construção civil, na forma de painéis de vedação pré-fabricados para habitações econômicas, e a avaliação do desempenho e da durabilidade destes painéis, por meio de avaliações visuais, ensaios físicos de umidade e densidade e ensaios mecânicos (resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento). Foram realizadas diversas avaliações e ensaios em bambus nos estados *in natura*, em bambus retirados de painéis envelhecidos de forma natural (longa duração) e em bambus retirados de painéis envelhecidos de forma acelerada (curta duração). Além disto, avaliou-se a aderência à tração da argamassa de revestimento aplicada sobre painéis de bambu argamassados não envelhecidos e também dos envelhecidos naturalmente e aceleradamente.

Com base nos aspectos sustentáveis, construtivos, de desempenho e de durabilidade dos painéis de bambu analisados na presente pesquisa, foi possível comprovar a possibilidade de uso do bambu em painéis argamassados para vedação vertical de habitações econômicas.

Este capítulo tem como objetivo compilar as informações, os resultados e avaliações mais importantes, relacionando-os aos aspectos teóricos levantados na Revisão da Literatura e aos objetivos da Tese.

A) CONSIDERAÇÕES SOBRE O ENFOQUE TEÓRICO

A presente Tese abordou, inicialmente, questões ligadas à sustentabilidade e durabilidade das construções e aos materiais de baixo impacto ambiental, com ênfase nos bambus, como material de construção (Revisão da Literatura - Capítulo 1). Os painéis de vedação vertical também foram alvo de estudo, abordando-se a substituição das matrizes industrializadas por matrizes naturais.

Nesta parte da pesquisa, chamou-se a atenção para a importância da realização de projetos que promovam a utilização de materiais de baixo impacto ambiental pelos profissionais da área da construção civil, principalmente nas habitações econômicas. Sabe-se que o déficit habitacional de moradias no Brasil para a população de baixa renda tornou-se um sério problema, que persiste e se agrava com o passar dos anos.

Com relação aos painéis de bambu inseridos no contexto teórico, observou-se que é possível fazer a substituição da matriz cimentícia ou cerâmica, tradicionalmente usadas nos painéis de vedação, por matrizes vegetais ou naturais, como no caso dos bambus. Comprovou-se nesta pesquisa que a utilização do bambu como matriz vegetal fibrosa na produção de painéis de vedação é uma opção perfeitamente viável, haja vista que se trata de um material natural, com grande potencial construtivo, de baixo custo e crescimento rápido, além de possuir o *status* de planta com maiores níveis de sustentabilidade do reino vegetal.

Ressalta-se outra vantagem da utilização dos bambus nas construções, que é o baixo consumo de energia gasto para a produção de peças ou componentes construtivos, principalmente se comparado com a madeira, o aço, o alumínio, dentre outros materiais. Isto se deve ao fato, principalmente, do bambu ser leve e de fácil manuseio, considerando-se que grande parte dos trabalhos pode ser feito manualmente, com instrumentos que não necessitam de energia elétrica.

Sabe-se que a literatura acerca deste tema é limitada, tanto no âmbito nacional como internacional. Ressalta-se, assim, a relevância da pesquisa científica desenvolvida e dos resultados obtidos acerca dos painéis de bambu argamassados. Acredita-se que o conteúdo desta pesquisa servirá como fonte de pesquisa bibliográfica sobre os bambus e como incentivo, para que profissionais da construção civil possam conhecer e usar os estudos apresentados.

B) CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ASPECTOS CONSTRUTIVOS E APLICAÇÃO NA ARQUITETURA

A partir das premissas estabelecidas no Capítulo 1, apresentou-se a proposta arquitetônica de um painel de bambu pré-fabricado, como um elemento construtivo de vedação vertical, inserido em uma habitação econômica. No sentido de contribuir com o processo projetual e tecnológico das habitações econômicas, desenvolveu-se o projeto deste componente construtivo pré-fabricado feito de bambus, visando sua produção em série para a construção de habitações econômicas.

Constatou-se nesta pesquisa que os bambus podem ser utilizados, com vantagens ambientais e construtivas, como matriz vegetal e natural para painéis de vedação, em

substituição às tradicionais matrizes cerâmicas e cimentícias. No que se refere à sustentabilidade, o bambu é uma matéria prima renovável, de baixo custo e baixo consumo energético no seu processo de beneficiamento, facilmente encontrada em todo o território nacional.

Constatou-se que a espécie *Bambusa tuldoides* possui características físicas e mecânicas adequadas para a produção dos painéis de bambu argamassado. Seus colmos são retilíneos, finos e resistentes, mostrando-se adequados para a utilização como matriz vegetal para sistemas de vedação vertical.

No que se refere à construtibilidade dos painéis de bambu, ressalta-se que o seu processo de produção emprega materiais, equipamentos e técnicas conhecidos no mercado, sendo, portanto, facilmente assimilado pela mão de obra. Esta facilidade torna possível a autoconstrução. Aspectos como funcionalidade, flexibilidade e adaptabilidade foram levados em conta no projeto arquitetônico da habitação, mostrando que as edificações feitas com painéis bambu podem ser moduladas, o que facilita a ampliação e a adequação do projeto para diferentes programas de necessidades. Observou-se, ainda, que os painéis de bambu argamassados possuem baixo peso específico, o que influencia positivamente nas fundações. Tem-se, assim, uma redução nas cargas transferidas às fundações, tornando-as mais simples e econômicas.

Constatou-se que é possível projetar e inserir os painéis de bambu argamassados em habitações econômicas, de modo a atender aos requisitos mínimos de desempenho ditados pela nova norma vigente no país, a NBR 15.575 (ABNT, 2013), especialmente nos aspectos de vedação vertical, conforto térmico, conforto acústico, instalações elétricas, instalações hidráulicas, estanqueidade e durabilidade de projeto. Neste sentido, a argamassa de revestimento desempenha um papel importante na estanqueidade e na durabilidade dos bambus.

Os painéis de bambu propostos podem ser combinados com outros materiais de construção, tradicionais ou sustentáveis, como o concreto, os blocos cerâmicos e a madeira, por exemplo. Portanto, é possível a integração dos bambus com outros materiais, conferindo ao projeto diversidade e flexibilidade construtiva.

O bambu é um material com grande potencial para a industrialização, sendo que os principais componentes construtivos feitos de bambu podem ser pré-fabricados e

industrializados, como no caso dos painéis de vedação, treliças, pilares, pisos laminados e outros. A matéria prima estudada, apesar de ser tradicionalmente utilizada em processos de construção artesanal, mostrou ser adequada para a pré-fabricação, podendo ser produzida em série e em larga escala industrial. A partir de análises feitas sobre o projeto arquitetônico do painel de bambu, inserido em habitação econômica, conclui-se que os painéis, assim como os propostos nesta pesquisa, devem possuir medidas padronizadas, a fim de facilitar e agilizar a produção em série. Foram propostos painéis com dimensões de 1,20m de largura x 2,50m de altura x 0,06m de espessura, sendo estas padronizadas para todos os painéis utilizados na habitação.

Assim como as madeiras, os bambus são suscetíveis ao ataque de insetos e microorganismos, como os fungos, o que afeta negativamente a sua durabilidade. Porém, por meio de tratamentos de imunização adequados, esta durabilidade pode ser aumentada. A Mineralização, tratamento empregado aos bambus nesta pesquisa, contribui parcialmente com a imunização dos colmos contra insetos e fungos, haja vista que o cimento possui pH alcalino, criando um ambiente desfavorável para a proliferação de fungos e ataque de insetos.

A mineralização pode contribuir para a aderência da argamassa de revestimento aos bambus. A superfície do bambu lixada permite que as partículas de cimento fiquem melhor aderidas, criando microancoragens entre o colmo de bambu e a argamassa de revestimento.

C) CONSIDERAÇÕES SOBRE A INFLUÊNCIA DO NÓ NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS BAMBUS

Propriedades físicas

As avaliações de umidade realizadas nesta pesquisa, em amostras de bambu no estado natural, obtiveram resultados abaixo da média apresentada pela revisão da literatura (entre 10 e 15%), estando situados entre 6,5 e 6,7%. Porém, não há registros específicos na literatura sobre a umidade natural da espécie. A literatura revisada diz que estes valores são diretamente influenciados pela espécie e espessura das paredes dos colmos.

Após a realização de diversas avaliações relativas às propriedades físicas dos bambus (umidade e densidade), foi evidenciada a importante relação existente entre as propriedades

físicas e as propriedades mecânicas dos bambus, o que também influencia na durabilidade deste material.

Por meio dos ensaios de umidade realizados em amostras de bambus, nos estados natural, saturado e seco, pode-se comprovar que existe maior quantidade de espaços entre os feixes fibrosos na região nodal. Observa-se que estes vazios são capazes de absorver ou reter água (nos estados *in natura* e saturado) e de liberar a saída da água (no estado seco), dependendo do estado em que se encontram os bambus.

Os ensaios de densidade, realizados em amostras de bambu no estado natural sem nó e com nó, mostraram resultados característicos de 0,80 e 0,85 g/cm³, respectivamente, os quais são compatíveis com as médias publicadas na literatura revisada (0,50 a 1,00 g/cm³).

Comparando-se os resultados de densidade obtidos em amostras de bambus sem nó e com nó, constatou-se que: (a) as amostras de bambu **com nó** são mais densas, ou seja, possuem maior peso específico, quando o bambu encontra-se nos estados natural e saturado. Isto se deve a presença da água, que preenche os vazios da região nodal; e (b) as amostras **com nó** são menos densas quando o bambu encontra-se no estado seco, pois com a evaporação da água presente nos espaços entre os feixes fibrosos da região nodal, as peças se tornam mais leves.

A análise dos resultados mostrou que é possível fazer previsões de perda de densidade ao longo do tempo, devido ao envelhecimento natural do bambu, sem nó e com nó. Levando em consideração um comportamento linear entre o tempo e a densidade seca característica, foi possível estabelecer uma relação entre a diminuição da densidade ocorrida no envelhecimento acelerado proposto e a ocorrida no envelhecimento natural do bambu, inserido no painel argamassado.

Constatou-se que a densidade pode representar a perda de desempenho dos bambus, uma vez que foi observado um comportamento linear entre o tempo e a densidade, registrado nos processos de envelhecimento natural e acelerado.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, relacionando-se as densidades dos bambus (natural, saturada e seca), sem nó e com nó, com as propriedades mecânicas dos bambus (resistência à compressão e flexão), tem-se a comprovação de que, quanto maior a densidade, maiores são as resistências mecânicas dos bambus.

Os coeficientes de correlação (r) obtidos nas relações lineares entre as variáveis densidades secas e resistências mecânicas (resistência à compressão e flexão), apresentaram resultados extremamente satisfatórios (de $r=0,953$ e $r=0,986$, respectivamente). A interpretação dos valores de coeficientes de correlação aponta para o fato de que é possível prever as resistências mecânicas dos bambus com base nos resultados de densidade seca, e vice-versa.

Propriedades mecânicas

Conclui-se, portanto, que a região nodal, devido à sua própria anatomia (com células mais curtas, feixes de fibras distorcidos e maior porosidade dos tecidos), apresenta perda de resistência mecânica em comparação com a região dos entrenós. Os ensaios de resistência à compressão paralela às fibras e de flexão perpendicular às fibras, realizados nesta pesquisa, em amostras sem nó e com nó, forneceram resultados com interpretação unânime, onde a região nodal foi menos resistente que a região de entrenós. A interligação entre estas variáveis (umidade e resistência mecânica do bambu), na região nodal, comprovaram que esta parte do colmo de bambu é menos resistente.

D) CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO NATURAL E ACELERADO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA PREVISÃO DA VIDA ÚTIL DOS PAINÉIS

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, vários painéis de bambu foram produzidos. Estes, por sua vez, foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto de acelerado. Um dos principais objetivos deste procedimento foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas residuais após processos de envelhecimento natural e acelerado. Além disso, a metodologia de envelhecimento acelerado adotada foi capaz de simular o envelhecimento natural dos painéis de bambu argamassados.

Após seis anos de envelhecimento natural, verificou-se que a densidade seca característica, a resistência à compressão paralela às fibras, a resistência à flexão perpendicular às fibras e a aderência à tração da argamassa de revestimento à matriz de bambu, diminuíram. Esta diminuição está associada à retração dos colmos de bambu e aos processos de degradação da matriz vegetal, devidos ao ataque de microorganismos e à exposição à matriz cimentícia de elevado pH (argamassa de revestimento).

As estimativas de perdas residuais das propriedades avaliadas e a estimativa da vida útil do painel de bambu argamassado foi obtida considerando-se uma relação linear entre o tempo e as propriedades medidas. Ainda, considerando-se a mesma relação linear entre a densidade seca característica e as propriedades mecânicas do bambu, por meio de regressão linear, verificou-se a possibilidade de estimar a resistência à compressão e à flexão, com base na densidade seca característica, e vice-versa.

Quando existe algum parâmetro normativo associado a alguma das propriedades avaliadas, como é o caso da resistência de aderência da argamassa e da resistência à compressão do elemento construtivo das alvenarias cerâmicas, é possível fazer uma previsão da vida útil do painel de bambu argamassado por meio da avaliação destes requisitos de desempenho. Assim, como a NBR 13.745 (ABNT, 1996), estabelece um valor mínimo de 0,3 MPa para resistência de aderência, foi possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a aderência da argamassa ao painel atingirá o valor de referência normativa (0,3 MPa). No que se refere às matrizes cerâmicas da alvenaria de vedação, a NBR 15.270-1 (ABNT, 2005) e a NBR 7170 (ABNT, 1983) estabelecem uma resistência à compressão mínima de 1,5 MPa para os blocos cerâmicos e tijolos maciços. Levando em consideração os resultados obtidos na presente Tese e levando em consideração um comportamento linear entre o tempo e a resistência à compressão, seriam necessários 9,49 anos de envelhecimento natural para que a matriz natural de bambu atingisse o valor de referência normativo (1,5 MPa).

Estes dados estimados de vida útil dos painéis de bambu se aproximam das estimativas empíricas de 10 a 15 anos citadas por Liese (1987). No entanto, deve-se considerar que os bambus empregados na presente Tese não foram submetidos a procedimentos de preservação e imunização tradicionais, o que levaria a um aumento de vida útil dos bambus.

E) SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Propõe-se, como sugestão para trabalhos futuros, as análises biológicas e microscópicas dos fungos que se manifestaram nos bambus retirados do interior dos painéis de bambu argamassados. Sabe-se que o colmo dos bambus também é atacado por microorganismos. Devido ao grande número de espécies de fungos existentes e das inúmeras novas espécies descritas a cada ano, tornando-se difícil a identificação destes microorganismos. Apesar das dificuldades citadas, é importante a realização de um estudo mais aprofundado sobre os

fungos específicos que se desenvolveram nos bambus, mesmo estando inseridos em matriz cimentícia e pH elevado.

Propõe-se avaliar a durabilidade dos bambus inseridos em painéis de bambu argamassados, seguindo a mesma metodologia adotada nesta pesquisa, porém fazendo um tratamento de preservação nos colmos de bambu, com a utilização de produtos químicos, antes da sua produção.

Em atendimento a nova norma de desempenho das edificações (NBR 15.575, ABNT 2013) sugere-se a realização de avaliações de desempenho nos painéis de bambu argamassados, com base nos seguintes ensaios: resistência aos impactos de corpo mole e corpo duro; estanqueidade à água; resistência ao fogo; desempenho térmico e desempenho acústico. Os ensaios descritos devem ser realizados em protótipos de painéis de bambu, feitos em tamanho real de uso, podendo estar ou não inseridos em uma habitação econômica.

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas, tanto nos processos de envelhecimento natural como acelerado, em diferentes idades, a fim de verificar quais as funções (linear, exponencial etc) que melhor representam a diminuição destas propriedades ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACFA - ENCUENTRO NACIONAL DE FACULTADES DE ARQUITECTURA SUSTENTABLE. **De los bahareques patrimoniales al bahareque encementado contemporáneo:** arquitecturas sustentables en el paisaje cultural cafetero de Colombia. Realização: Arquitecto José Fernando Muñoz Robledo. Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Colômbia, 2005. 1 CD-ROM.

AGENDA 21. In: CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. Disponível em: <www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global>. Acesso em: novembro 2012.

AHMAD, Mansur. **Analysis of Calcutta bamboo for structural composite materials:** surface characteristics. (Dissertação) Wood Science and Forest Products - Department of Wood Science and Forest Products, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2000.

AKATU. **Mudanças Climáticas:** Países acertam acordo global para reduzir emissões de CO2. Instituto Akatu, Brasil, 2011. Disponível em: <www.akatu.org.br>. Acesso em: janeiro 2013.

ALMEIDA, J. G. **Preservação de bambu:** Processos e meios tradicionais de cura de colmos do bambu para a construção. In: II SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU - RBB. 2010, Rio Branco. **Anais...** Brasília: CPAB, Universidade de Brasília, 2011.

ALMEIDA, J. G.; ALMEIDA, S. A. O; **Preservação do bambu:** Processos e técnicas convencionais (químicos) de tratamento de colmos de bambu para a construção. In: II SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: CONSOLIDAÇÃO DA REDE BRASILEIRA DO BAMBU - RBB. 2010, Rio Branco. **Anais...** Brasília: CPAB, Universidade de Brasília, 2011.

ALMEIDA, J. G.; TEIXEIRA, A. A. **Estado da Arte dos painéis de bambu.** Anais do I Seminário Nacional do Bambu. In: I SEMINÁRIO NACIONAL DO BAMBU: ESTRUTURAÇÃO DA REDE DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. Brasília/DF, 2006. **Anais...** Brasília: CPAB, 2 ed., Universidade de Brasília, 2011.

ALVES, José Dafico. **Construção civil e sustentabilidade.** Goiânia: Editora da PUC Goiás, 2012.

_____. **O luxo da casa de lixo:** moradia e sustentabilidade. Goiânia: Editora da PUC Goiás, 2010.

_____. **Influência das fibras nas propriedades do concreto.** In: IBRACON – INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, XVIII JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 1975, Salvador. **Anais...** Salvador, 1976.

ALVES, Rodrigo Santana. **Influência do ambiente no processo de produção de projetos arquitetônicos sustentáveis:** Estudos de caso em habitação unifamiliar em Goiânia. (Dissertação) Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente - Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Meio Ambiente, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em: <www.ppgema.eec.ufg.br/dissertacao_rodrigo_s_alves_2012.pdf>. Acesso em: junho 2012.

ANIK, D; BOONSTRA, C.; MARK, J. **Hand Book of Sustainable Building:** An Environmental Preference Method for the Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment. James & James, London, 1996.

ARCHLEAGUE. **Current work of Simón Vélez with Bamboo Structures.** 2011. Disponível em: www.archleague.org. Acesso em: fevereiro 2011.

ARRUDA, L. M; QUIRINO, W. F. **Caracterização energética de bambu (Guadua magna).** In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA E BIOTECH FAIR, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527:** Água de Chuva - Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 15575:** Edificações habitacionais: Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 15220:** Desempenho térmico das edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13270-1:** Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 5626:** Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7190:** Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

_____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 13554:** Solo-cimento - Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7170:** Tijolo maciço cerâmico para alvenaria. Rio de Janeiro, 1983.

AZZINI, A.; SANTOS, R. L.; PETTINELI JÚNIOR, A. **Bambu:** material alternativo para construções rurais. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997.

BARBOSA, Normando Perazzo. **Considerações sobre Materiais de Construção Convencionais e Não-Convencionais.** (Artigo Técnico) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. **Bambu como material de construção.** (Artigo técnico) Departamento de Tecnologia da Construção Civil, Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, UFPB. João Pessoa, 2005.

BARROS, B. R.; SOUZA, F. A. M. **Bambu: alternativa construtiva de baixo impacto ambiental.** In: I CONFERENCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004.

BARONI, Margaret. **Ambiguidades e deficiências do conceito de sustentabilidade.** São Paulo: RAE, 1992.

BECKER, Dinizar Ferminiano. **A insustentabilidade do discurso do desenvolvimento sustentável.** Santa Cruz do Sul: Estudos do CEPE, 2000.

BERALDO, A. L.; PEREIRA, M. A. **Bambu de corpo e alma.** Bauru: Canal 6, 2008.

BERALDO, A. L.; FERREIRA, G. C. S.; VIEIRA, F. F. **Avaliação da degradação de colmos de bambu por meio de END por ultra-som.** In: I SEMINÁRIO SOBRE A APLICAÇÃO DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS NA MADEIRA E EM MATERIAIS DE BASE DE MADEIRA, 2006, Itatiba. **Anais...** São Paulo: ABENDE, 2006.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Bambu:** Características e aplicações. Guaíba: Livraria Editora Agropecuária, 2004.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C. R.; RIBEIRO, C. A. **Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultra-som.** In: Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2003, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANTAC, 2003.

BERALDO, A. L. (Coord.); FREIRE, W. J. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Campinas: Editora da Unicamp, 2003.

BERALDO, A. L.; ZOULALIAN, A. **Bambu: material alternativo para construções rurais.** In: ANAIS DO V EBRAMEM – ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1995.

BETAOLEMELA. **Mudanças climáticas, uma nova realidade.** Brasil: Blogspot, 2010. Disponível em: <betaolemela.blogspot.com.br/2010/07/mudancas-climaticas-uma-nova-realidade.html>. Acesso em: novembro 2012.

BIG – Banco de Informações de Geração. **ANEEL** (Agência Nacional de Energia Elétrica), Brasil, 2002. Disponível em: <www.aneel.gov.br>. Acesso em: novembro 2012.

BLUMENSCHNEIN, R. N. **A sustentabilidade na cadeia produtiva na indústria da construção.** (Tese) Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. CDS, Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2004.

BRASILESCOLA. **Desertificação.** Brasil: Brasil Escola, 2012. Disponível em: <www.brasilescola.com/geografia/desertificacao.htm>. Acesso em: novembro 2012.

BROTERO, F. A. **Métodos de ensaios adotados pelo IPT para estudo de madeiras nacionais.** São Paulo, SP: IPT, 1956. 62p. (Boletim 31).

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Nosso Futuro Comum.** Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.; SCARAVELLI, T.; SANTINI, E.; STANGERLIN, D.; GATTO, D.; TREVISAN, R. **Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira.** Lavras: CERNE, Universidade Federal de Lavras, 2007.

CALLISTER Jr. W. D.; SOARES, S.M.S.; MIRANDA, P.E.V. de. **Ciência e Engenharia dos materiais: uma introdução.** Rio de Janeiro, Ed. LTC, 2002.

CARVALHO, Francisco Prancacio Araújo de. **Eco-eficiência na produção de pó e cera de Carnaúba no Município de Campo Maior (PI).** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2005. Disponível em: <www.ufpi.br/subsiteFiles/mestambiente/arquivos/prancacio(1).pdf>. Acesso em: outubro 2012.

CARVALHO, M.S. **Caracterização mecânica e química do bambu e sua aplicação como reforço em compósitos de poliestireno.** Dissertação (Mestrado) – UFOP- CETEC- UEMG, Ouro Preto, 2004.

CAVALCANTE, Livia Gasparelli. **Materiais construtivos, sustentabilidade e complexidade: a responsabilidade na especificação dos materiais.** (Dissertação) Mestrado em Ciência Ambiental - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br/livia_cavalcante_dissertação_mestrado.pdf>. Acesso em: julho 2012.

CAVALCANTI, Clóvis (Org.) **Desenvolvimento e natureza: Estudos para uma sociedade sustentável.** Ministério de Educação, Governo Federal, Recife: Editora do Instituto de Pesquisas Sociais - Fundação Joaquim Nabuco, 1994.

CENTRO DE ESTUDOS AMBIENTAIS. **Em nome da proteção à Amazônia, se ofereceu o Cerrado à devastação**, entrevista com Carlos Walter Porto-Gonçalves. Rio Grande do Sul, EcoDebate, 2011. Disponível em: www.ongcea.eco.br. Acesso em: maio 2013.

CHAPPELL, Steve. **The Alternative Building**: Sourcebook for Traditional, Natural and Sustainable Building. Brownfield: Editora Fox Maple Press, 1998.

CHENG, J. L.; MING, J. T.; SONG, Y. W. **Nondestructive evaluation techniques for assessing dynamic modulus of elasticity of moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) lamina**. Tokyo: Journal of Wood Science, 2006.

CHIRRAS, Daniel D. **The New Ecological Home**: A complete guide to green building options. Estados Unidos: Editora Chelsea Green, 2004.

CIRIA. **Building Greener**: Guidance on the Green Roofs, Green Walls and Complementary Features on Building. Londres: CIRIA, 2007.

COOK, Jeffrey. **Olgay & Olgay in Hungary and America. Inventing bioclimatic architecture**. Proceedings of PLEA'86, vol.I, Hungary, 1986.

CORBELLA, Oscar. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**: conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORCUERA, Daniela. **Edifícios de escritórios**: o conceito de sustentabilidade nos sistemas de vedação externa. (Dissertação) Mestrado em Estruturas Ambientais Urbanas -Departamento de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <www.casaconsciente.com.br/pdf/mestrado_daniela_corcuera.pdf>. Acesso em: novembro 2012.

CORREIA, Viviane da Costa. **Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias**. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Produtividade Animal) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2011.

CSILLAG, Diana. **Análise das práticas de sustentabilidade em projetos de construções latino-americanas**. (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Construção Civil - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CUNHA, Eduardo Grala da. **Elementos de arquitetura de climatização natural**. Porto Alegre: Editora Masquatro, 2004.

CUNHA, Viviane. **Madeira e sustentabilidade, como vai esta relação? Vitruvius**, São Paulo, 2011. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.107/61>. Acesso em: março 2012.

DANIELS, Klaus. **The Technology of Ecological Building**: Basic Principles and Measures, Examples and Ideas. Alemanha: Editora Birkhäuser Verlag, 1994.

DIRETORIA DE VIGILÂNCIA EPIDEMIOLÓGICA - DIVE. **Guia de orientação para treinamento de técnicos de laboratório de entomologia**. Sistema Único de Saúde - Secretaria de Estado da Saúde, Superintendência de Vigilância em Saúde, Diretoria de Vigilância Epidemiológica, Gerência de Vigilância de Zoonoses e Entomologia. Santa Catarina, 2008.

DUARTE FILHO, Francisco Henrique. **A industrialização como sinônimo de progresso e desenvolvimento para Belo Jardim-PE**: verdades, limites e contradições. (Dissertação) Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente - Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba/ UFPB/UEPB, João Pessoa, 2002.

DUQUEYZAMORA, Arquitectos. **Casa EntreEncinas**. Casa Pasiva con criterios de Bioconstrucción en Villanueva de Pría, Asturias. Espanha, 2012. Disponível em: <www.casabiopasiva.blogspot.com.es>. Acesso em: novembro 2012.

DUNKELBERG, Klaus. **IL31 – Bambus als Baustoff / Bamboo as a Building Material**. Alemanha, Editora do Institute for Lightweight Structures (IL), 1985.

EBIOBAMBU. Associação Escola de Bioarquitetura. Centro de Pesquisa e Tecnologia Experimental em Bambu. **Projeto do Centro de apoio da Ebiobambu**. 2009. Disponível em: www.ebiobambu.com.br/projetos. Acesso em: agosto 2011.

ECOCENTRO. **Técnicas construtivas com adobe**. 2012. Disponível em: <http://www.ecocentro.org/> Acesso em: fevereiro 2012.

EDÉN, M. and JONSSON, A. **MISTRA – Sustainable Building**. Department of Built Environment and Sustainable Development, Chalmers University of Technology. Goteborg, 2002.

EDWARDS, Brian. **Green Building Pay**. Londres: Editora Spon Press, 2003.

EDWARDS, Brian. **Guía básica de la sostenibilidad**. Barcelona: Editora Gustavo Gill SA, 2001.

EFECADE. **Taj Mahal: Maravilhas do mundo moderno**. 2013. Disponível em: <http://www.efecade.com.br> Acesso em: fevereiro 2013.

ELIZABETH, L.; ADAMS, C. **Alternative Construction: Contemporary Natural Building Methods**. Nova Iorque: Editora John Wiley & Sons, Inc., 2000.

ESPELHO, J.C.C.; BERALDO, A.L. **Avaliação físico-mecânica de colmos de bambu tratados**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2008.

FERRARI, Alfonso Trujillo. **Metodologia da pesquisa científica**. São Paulo: Editora Mc Graw Hill, 1982.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Terapia das construções de concreto: Metodologia de avaliação de sistemas epóxi, destinados a injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1989.

FISK, Pliny. **Integration vs. Conservation, A Renewable Energy Building Block for the 21st Century**. American Solar Energy Society Proceedings, 1989.

FONTOURA, Raul de Oliveira. **A arquitetura na encruzilhada da sustentabilidade: considerações à literatura e a experiências existentes**. (Dissertação) Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

FOREST TRENDS AND RAINFOREST ACTION NETWORK. **Building with Vision: Optimizing and Finding Alternatives to Wood**. São Francisco: Editora Watershed Media, 2001.

FRANCO, José Tomás. **Casa EntreEncinas: Duque y Zamora Arquitectos**. Plataforma Arquitectura, Chile, 2012. Disponível em: www.plataformaarquitectura.cl/2012/10/29/casa-entreencinas-duque-y-zamora-arquitectos. Acesso em: novembro 2012.

FREITAS, Ana Fabíola Martins de Carvalho dos Santos. **Arquitetura bioclimática e sustentabilidade ambiental no revestimento de fachadas**. (Dissertação) Mestrado Integrado em Engenharia Civil - Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

FREITAS, V., CORVACHO, H., SÁ, A., QUINTELA, M. **Discussing the Durability Assessment of Cement Mortars – a Contribution for a Prediction Model**. 11th International Conference on Durability of Building Material and Components (DBMC), Istanbul, 2008.

FROTA, A.B; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GANAPATHY, P. M.; HUAN-MING, Z.; ZOOLAGUD, S. S. **Bamboo panel boards: a state of the art review.** Beijing, 2002. Disponível em: <http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR_Technical_Report_No12.htm>. Acesso em: 20 mar. 2006.

GASPAR, P., BRITO, J. **Modelo de degradação de rebocos.** Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.

G1 GLOBO.COM. **Considerada fracasso na época, Rio 92 foi 'sucesso' para especialistas.** São Paulo, 2012. Disponível em: <g1.globo.com/natureza/rio20/noticia/2012/05/considerada-fracasso-na-epoca-rio-92-foi-sucesso-para-especialistas.html>. Acesso em: maio 2013.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Propriedades geométricas e mecânicas de colmos dos bambus para aplicação em construções.** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies: mosó, matake, guadua angustifolia, guadua tagoara e dendrocalamus giganteus para utilização na engenharia.** Rio de Janeiro: RMNC do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 2001.

GHAVAMI, K. **Bambu: um material alternativo na engenharia.** Construção Civil / Pesquisa, ENGENHARIA, 1992.

GHAVAMI, K. **Estruturas de concreto armadas com bambu.** In: COLÓQUIO SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO PROTENDIDO, 6, 1990, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: [s.n], 1990.

GHAVAMI, K. **Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering.** In: THIRD CIB RILEM SYMPOSIUM ON MATERIALS FOR LOW INCOME HOUSING. **Anais...** Cidade do México, 1989.

GIBBERD, Jeremy. **Integrating sustainable development into briefing and design processes of buildings in developing countries: An Assessment Tool.** (Tese) Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Pretoria, Pretoria, 2003.

GIULIANI, Gian Mario. **A questão ecológica, a indústria, o capitalismo.** In: Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas. Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1999.

GOMES, J; FERREIRA, R. **Durabilidade dos Materiais: desempenho e projeto prescritivo.** Revista Materiais de Construção nº145, 2009.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S. **Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino.** Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006. Disponível em: <www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/.../2071>. Acesso em: dezembro 2012.

GONÇALVES, Paulo Batista. **Uma introdução à instabilidade das estruturas.** Apostila, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1994.

GOULART, Solange. **Sustentabilidade nas Edificações e no Espaço Urbano.** Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2012. Disponível em: <www.labee.ufsc.br/sites/default/disciplinas>. Acesso em: novembro 2011.

GRAÇA, V. L. **Bambu, técnicas para o cultivo e suas aplicações.** São Paulo: Ed. Ícone, 1988.

GRAHAM, Peter. **Building Ecology: First Principles for a Sustainable Built Environment.** Melbourne: Editora Blackwell Publishing, 2003.

GROSSER D.; LIESE, W. **On the Anatomy of Asian Bamboo's, with Special Reference to their Vascular Bundles.** Wood Science and Technology, 1974.

GRUPOESCOLAR. **Poluição atmosférica**. Brasil: Wikipédia, 2012. Disponível em: <www.grupoescolar.com/pesquisa/poluicao-atmosferica.html>. Acesso em: novembro 2012.

HENDRIKS, C.F.; NOJKERK, A.A; VAN JOPPEN, A.E. **O ciclo da construção**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

HENRIKSON, R.; GREENBERG, D. **Bamboo Architecture in Competition and Exhibition**. Maui: Editora Ronore Enterprises, 2011.

HSIUNG, W. **Prospects for bamboo development in the world**. In: IBC 88, Prafance, 1988.

HUDSON, J. B. **Surface Science: An Introduction**. Pergamon Press Inc., New York, 1961.

IFREUD. **Protocolo de Kioto**. Brasil, 2012. Disponível em: <ifreud.webnode.com.br/news/protocolo-de-kioto/>. Acesso em: maio 2013.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA - IDHEA. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil: conceito e teoria**. (Apostila) Curso de Materiais Ecológicos e Tecnologias Sustentáveis. São Paulo, 2006.

_____. IDHEA. **Produtos ecológicos para uma sociedade sustentável**. São Paulo, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15686-1: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 1: General principles and framework**. Genebra, 2000.

_____. **ISO 15686-2: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures**. Genebra, 2001.

_____. **ISO 15686-3: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 3: Performance audits and reviews**. Genebra, 2002.

_____. **ISO 15686-4: Building construction: Service life planning - Part 4: Service life planning using building information modeling**. Genebra, 2003.

_____. **ISO 15686-5: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 5: Life-cycle costing**. Genebra, 2003.

_____. **ISO 15686-6: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 6: Procedures for considering environmental impacts**. Genebra, 2004.

_____. **ISO 15686-7: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice**. Genebra, 2004.

_____. **ISO 15686-8: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 8: Reference service life and service-life estimation**. Genebra, 2004.

_____. **ISO 15686-9: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 9: Guidance on assessment of service-life data**. Genebra, 2008.

_____. **ISO 15686-10: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 10: When to assess functional performance**. Genebra, 2010.

_____. **ISO 15686-11: Buildings and constructed assets: Service life planning - Part 11: Terminology**. Genebra, 2013.

JANSSEN, J. J.; **Designing and Building with Bamboo**. Beijing: International Network for Bamboo and Rattan, 2005.

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. Beijing/China: INBAR – International Network for Bamboo and Rattan. Technical Report nº 20, 2000.

JANSSEN, J.J.; BOUGHTON, G.; ADKOLI, N. S.; RANJAN, M. P.; SASTRY, C. B.; GANAPATHY, P. M.; RAO, I. V. R.; GHAVAMI, K.; RAVINDRAN, K. **Bamboo as an Engineering Material: An annotated Bibliography**. Canadá: The IDRC Bamboo and Rattan Research Network, 1990.

JARAMILLO, S. V. **La guadua en los proyectos de inversión**. In: Anales del Congreso Mundial de Bambú Guadua. Pereira, Colômbia, 1992.

JAYANETTI, D. L.; FOLLETT, P. R. **Bamboo in construction: an introduction**. High Wycombe: TRADA Technology Limited, International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 1998.

JOHN, V.; AGOPYAN, V. Reciclagem de Resíduos na Construção. In: SEMINÁRIO RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: PCC USP, 2000. Disponível em: <www.recycled.pcc.usp.br/ftp/CETESB.pdf>. Acesso em: novembro 2012.

JOHN, V. M., SATO, N. M. N., AGOPYAN, V., SJÖSTRÖM, C. Durabilidade e sustentabilidade: Desafios para a construção civil brasileira. In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2001, São José dos Campos. **Anais...** São Paulo, 2001.

JOHN, Vanderley Moacyr. Panorama sobre a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. In: SEMINÁRIO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2, 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IBRACON CT, 1999.

JUNGES, José Roque. **Ética ambiental**. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2004.

JUNIOR, Holmer Savastano. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para construção de baixo custo**. (Tese) Concurso de Livre- Docência - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA; BANCO CENTRAL HIPOTECARIO; CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL CAUCA. **Vivenda em Buenaventura, Tecnología de pánenes estructurales em madera 1** – Bogotá – Colombia, 1987.

KABIR, M. F.; BHATTACHARJEE, D. K.; SATTAR, M. A. **Effect of age and height on strength properties of *Dendrocalamus longispathus***. Bamboo Inform. Centre India Bull, 3: 11-15. 1993.

KEELER, M.; BURKE, B. **Fundamentos de projeto de edificações sustentáveis**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2010.

KUCZUMOW, A.; VEKEMANS, B.; SCHALM, O.; DORRINÉ, W.; CHEVALIER, P.; DILLMANN, P.; RO, C.U.; JANSSENS, K.; GRIEKEN, R. V. Analyses of petrified wood by electron, X-ray, and optical microprobe. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**. Reino Unido, 1998.

LACASSE, M., SJÖSTRÖM, C. Advances in Methods for service life prediction of building materials and components – Final report – Activities of the CIB. In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIAL AND COMPONENTS (DBMC), 2005, Lyon. **Anais...** Lyon, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo: Editora PW, 2005.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; BANGI, A. P. **Flexural properties of bamboo-reinforced southern pine OSB beams**. Madison: Forest Products Journal, 1994.

LENGEN, Johan Van. **Manual do arquiteto descalço**. Rio de Janeiro: Editora Casa do sonho, 2002.

LEPIK, Andres. **Small Scale, Big Change: New Architectures of Social Engagement**. Nova Iorque: Editora do The Museum of Modern Art, 2011.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. International Network for Bamboo and Rattan, 208p. China, 1998.

LIESE, W. **Anatomy and properties of bamboo**. In: RECENT RESEARCH ON BAMBOOS, 1985, Hangzhou/China. Anais... Hangzhou/China: Chinese Academy of Forestry; International Development Research Centre, 1987.

LIESE, W. *Bamboos – Biology, silvics, properties, utilization*. GTZ, Germany, 132p, 1985.

LONDONO, X. **Generalidades botánicas de los bambus del neotropico com enfasis en el gênero Guadua**. In: I Simposio Nacional de Bambu del Equador, 6p. Portoviejo, Manabi, 1991.

LOPEZ, O. H. **Bamboo the gift of the gods**. Bogotá: D`vinni Ltda, 2003.

LÓPEZ, O. H. **Bambu**, su cultivo y aplicaciones em: fabricación de papel, construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía. Colômbia: Estúdios Técnicos Colombianos, 1974.

LÓPEZ, O. H. **Manual de construcción con bambú**. Estudos Técnicos Colombianos. Colômbia: Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigación de Bambu y Madera – CIBAM, 1981.

MALHOTRA, V. M; MEHTA, P. K. **High-performance, high-volume fly ash concrete**: materials, mixture proportioning, properties, construction practice, and case histories. Ottawa: Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., 2005.

MASCARÓ, J.L.; MASCARÓ, L.E.R. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Porto Alegre: Editora Sangra-DC Luzzatto, 1992.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva. **Uso do bambu na construção Civil**. (Monografia) Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil – Faculdade de tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MARQUEZ, F. L.; MEIRELLES, C. R. M. **Arquitetura em Bambu: Técnicas construtivas na utilização do bambu como material arquitetônico**. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA PIBIC e PIVIC, 3, 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.

MAY, John. **Casas hechas a mano y otros edificios tradicionales**. Arquitectura popular. Barcelona: Editora Blume, 2011.

MCCORMICK, John. **Rumo ao paraíso**. Rio de Janeiro: Editora Relume-Dumará, 1992.

MEIRELLES, C.R.N.; OSSE, V. C.; **A utilização do bambu na arquitetura**: as questões de conforto ambiental e estrutura. São Paulo: Editora FAUMAK, 2010.

MEIRIÑO, Marcelo J. **Arquitetura e sustentabilidade. Vitruvius**, São Paulo, 2004. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/04.047/595>. Acesso em: novembro 2012.

MEIRIÑO, Marcelo J. Projeto arquitetônico deve incorporar elementos de eficiência energética. **ARCOWEB**, São Paulo, 2004. Disponível em: <www.arcoweb.com.br/artigos/marcelo-meirino-projeto-arquitetonico-17-05-2004.html> Acesso em: setembro 2005.

MINKE, Gernot. **Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture**. Basel: Editora Birkhäuser, 2012.

MOISÉS, Fábio Alexandre. **Painéis de bambu, usos e aplicações**: uma experiência didática nos cursos de design em Bauru, São Paulo. (Dissertação) Mestrado em Desenho Industrial – Área de Concentração: Planejamento de Produto. Programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MORADO, Denise. **Bambu, material de fibra**. In: Revista Técnica, nº 9. Editora Pini, São Paulo- SP, março/abril de 1994.

MOTTA, S. R. F.; AGUILAR, M. T. P. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, 2009.

MÜLFARTH, Roberta C. Kronka. **Arquitetura de baixo impacto humano e ambiental**. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq. Acesso em: outubro de 2012.

MURAD, José Roberto de Lima. **Estudo experimental das propriedades físicas, mecânicas e aplicações estruturais do bambu *Guadua spp* de Assis Brasil – AC**. (Tese) Doutorado em Engenharia Civil – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Fluminense. Rio de Janeiro, RJ, 2011.

NASCIMENTO, A. M.; STACHERA, S. F.; XAVIER, L. M. **Determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas do *Bambusa tuldoides***. Curitiba, PR, 2002. 10p.

NASCIMENTO, O. L. do. **Bibliografia técnica para o desenvolvimento da construção em aço – alvenaria**. CBCA, 2003.

NOPATIO.COM. **Protocolo de Kyoto é estendido até 2020**, mas compromete poucos países. Brasil, 2012. Disponível em: <www.nopatio.com.br/tag/doha/>. Acesso em: maio 2013.

NORDBY, Anne Sigrid. **Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling**. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Faculty of Architecture and Fine Art, Norwegian University of Science and Technology, Noruega, 2009.

OLGYAY, Victor. **Arquitetura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 1998.

OLIVEIRA, Thaisa Francis César Sampaio de. **Sustentabilidade e Arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. (Dissertação) Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponível em: <www.api.ning.com/files/ThaisaSampaioOliveira.pdf>. Acesso em: janeiro de 2013.

OPRINS PLANT. **Bamboo**. Copyright, 55p. Rijkvovorsel, Belgium, 1997.

PEIXOTO, Luciana Kaviski. **Sistema construtivo em bambu laminado colado: proposição e ensaio do desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo Warren**. (Dissertação) Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2008.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. **Bambu: Espécies, Características e Aplicações**. Apostila, UNESP, Bauru, 2001.

PINTO, Tarcísio de Paula. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. (Tese) Doutorado em Engenharia da Construção Civil - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PORTO, Marcio. **O processo de projeto e a sustentabilidade na produção da arquitetura**. São Paulo: Editora C4, 2009.

RILEY, M.; COTGRAVE, A. **House Construction**. Reino Unido: Editora Great Britain Cromwell Press Ltda, 2008.

RIPPER, T. Desempenho das construções. In: 2º Ciclo de Palestras em Engenharia Civil (UNIC.), Monte da Caparica, 2003. **Anais...** Monte da Caparica, 2003.

ROAF, S.; FUENTES, S.: tradução Alexandre Salvaterra. **Ecohouse: A casa Ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Editora Bookman, 2006.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** In: LUSTOSA, M. C.; MAY, P. H.; VINHA, V. da. (Org.). Economia do meio ambiente. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2003.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura bioclimática do espaço público.** Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

RUANO, Miguel (Coord.) **Unvitruvio ecológico:** Principios y practica del proyecto arquitectónico sostenible. Londres: Editora Gustavo Gill, 2010.

SABBATINI, J. **O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado.** In: Tecnologia e gestão na produção de edifícios: seminário vedações verticais, p67-94. EPUSP, SP, 1998.

SACHS, Ignacy. **A terceira margem: Em busca do ecodesenvolvimento.** São Paulo: Companhia das letras, 2009.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável.** V.2. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SALGADO, A. L. de B.; GODOY JR., G. O. **O bambu no Brasil em nossa vida, nossa cultura, seu cultivo e utilização.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL, CURSOS E MOSTRAS – O USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2002, Maceió. Anais... Maceió: (s.n.), 2002.

SANTOS, Marisa Raquel Pinto. **Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas de componentes da construção. Revisão Bibliográfica.** (Dissertação) Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2010.

SARAIVA, A. G.; BAUER, E.; BEZERRA, L. M. **Análise das Tensões entre Argamassa Colante e Placas Cerâmicas Submetidas a Esforços de Natureza Térmica.** Porto Alegre: Ambiente Construído, 2002.

SASSI, Paola. **Strategies for Sustainable Architecture.** Nova Iorque: Taylor and Francis Publishing, 2006.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A ideia de conforto:** reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Editora Pacto Ambiental, 2005.

SHIMAKURA, S. E. **Interpretação do coeficiente de correlação.** 2002. Disponível em: <www.est.ufpr.br>. Acesso em novembro de 2012.

SILVA, A. T.; MORO, P. R. P.; KERN, A. P.; GONZÁLEZ, M. A. S.; KOCH, D. B. CONGRESSO INTERNACIONAL SUSTENTABILIDADE E HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, 1, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Parâmetros de sustentabilidade e empreendimentos de habitação de interesse social, 2010.

SILVEIRA, Marcos. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia:** padrões e processos em múltiplas escalas. (Tese) Programa de Pós-Graduação em Ecologia - Departamento de Ecologia – Universidade de Brasília. Brasília/DF, 2001.

SOBREIRA, Fabiano. Concursos e sustentabilidade: os riscos da onda verde. **Vitruvius**, São Paulo, 2009. Disponível em: <www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.107/61>. Acesso em: novembro 2012.

SOTO, Izquierdo Indara. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural** (Dissertação) Mestrado em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

STARGELIN, D. M.; MELO, R. R.; GARLET, A.; GATTO, D. A. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, 2011.

TALLERS, Coaib . **Bamboo Lab**: El viatge de la princesa. Barcelona: Editora El Far, 2005.

TAVARES, Priscila de Oliveira. **Aplicação do conceito de sustentabilidade em construções residenciais**. Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

TÉCNHE. **Painéis cerâmicos pré-fabricados**. 2013. Disponível em: www.techne.pini.com.br/engenharia-civil. Acesso em: agosto 2013.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de Bambu para habitações econômicas**: Avaliação do desempenho dos painéis revestidos com argamassa. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília, 2006.

TOLEDO FILHO, R.D.; SCRIVENER, K.; ENGLAND, G.L.; GHAVAMI, K. Durability of alkali sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement and Concrete Composites**, 2000.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres**: A review. *Construction and Building Materials*, 2011.

TRIODM. **Objetivos de desenvolvimento do milênio**. 2011. Disponível em: www.triodm.blogspot.com.br/2011/02/odm-8-desenvolver-uma-parceria-global.html. Acesso em: novembro 2012.

UN-HABITAT. **Sustainable housing for sustainable cities: a policy framework for developing countries**. Nairobi, Kenya, 2012. Disponível em: www.unhabitat.org. Acesso em: novembro 2012.

VAN DER LUGT, P.; JANSSEN, J.J.A.; VAN DER DOBBELSTEEN, A.A. **An environmental, economic and practical assesment of bamboo as a building material for supporting structures**. *Construction and Building Materials*, 2006.

VEDAÇÃO.BLOGSPOT. **Painéis pré-fabricados e pré-moldados**. 2013. Disponível em: www.vedacao.blogspot.com.br. Acesso em: março 2013.

VÉLEZ, Simon. **Grown Your Own House**. Simón Velez and Bamboo Architecture. Bogotá: C.I.R.E.C.A, 2001.

VEJAABRIL. **Rio + 20**. Brasil, 2012. Disponível em: veja.abril.com.br/tema/rio-20. Acesso em: maio 2013.

VEJABEMVB. **Degradação ambiental**: diminuição de terras produtivas e escassez de água. Brasil: Redação Época com Agência EFE/KC, 2011. Disponível em: www.vejabemvb.com/2011/12/degradacao-ambiental-diminuicao-de.html. Acesso em: novembro 2012.

VILLEGAS, Marcelo. **GUADUA: Arquitectura y diseño**. Bogotá: Villegas Editores, 2003.

WOOLEY, Tom. **Natural Building**: A Guide to Materials and Techniques. Udgivet: Editora The Crowood Press Ltda, 2006.

ZHOU, F. **Selected Works of Bamboo Research**. Nanjing, China: Research Editorial Comitee. Nanjing Forestry University, 2000.

ANEXO 1

1) DESEMPENHO TÉRMICO DO PAINEL DE BAMBU ARGAMASSADO E DE OUTROS SISTEMAS CONVENCIONAIS DE VEDAÇÃO

A metodologia empregada consiste na comparação entre os resultados de desempenho térmico obtidos nos painéis de bambu argamassados com os resultados obtidos de outros elementos construtivos convencionais de vedação, como concreto com entulho de obra e demolição, tijolos maciços revestidos nas duas faces, tijolos de seis furos revestidos de argamassa nas duas faces e bloco de concreto. Os cálculos foram desenvolvidos com base na NBR 15220-2 - (ABNT, 2005), onde foram avaliados os critérios de resistência, transmitância e capacidade térmica, atraso térmico e fator de calor solar dos elementos e componentes de vedação citados acima.

A) PAINEL DE BAMBU ARGAMASSADO

Para avaliar o desempenho térmico de painéis de bambu argamassados, utilizou-se um dos painéis de bambu produzidos no ano de 2005, durante a Dissertação de Mestrado da autora (Teixeira, 2006), como referência para o estudo do desempenho térmico. A Figura 5.1 apresenta um corte esquemático do referido painel, com medidas de espessura do painel e dos bambus utilizados em seu interior.

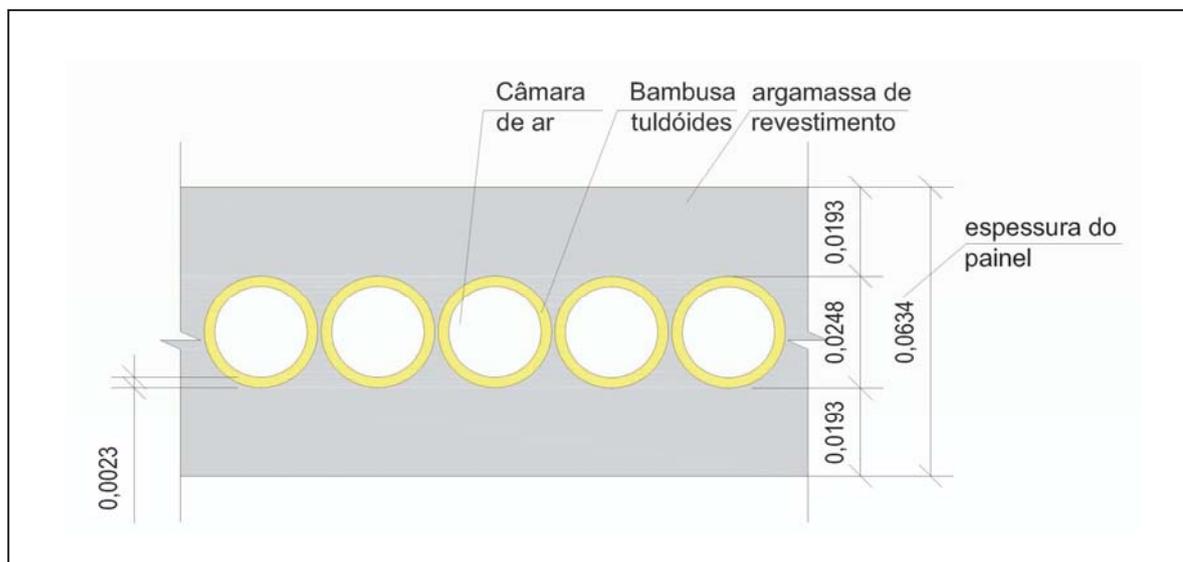


Figura 5.1 - Corte esquemático do painel de bambu argamassado (em metros).

De acordo com as medidas do corte esquemático do painel de bambu, foram coletados os seguintes dados, relativos ao bambu e a argamassa de revestimento:

Para o bambu, tem-se:

- Massa Específica aparente do bambu (ρ_B):

$$\rho_B = 650 \text{ kg/m}^3$$

- Calor Específico adotado para o bambu (C_B), de acordo com a Tabela B.3 da NBR 15220 - Parte 2 (ABNT, 2005), igual à madeira, com densidade variando entre 600 e 750 kg/m³:

$$C_B = 1,34 \text{ kJ/(kg.K)}$$

- Condutividade Térmica do bambu (λ_B) obtida na mesma Tabela:

$$\lambda_B = 0,23 \text{ W/(m.K)}$$

Para a argamassa, tem-se:

- Massa Específica da argamassa (ρ_A), obtida na mesma Tabela:

$$\rho_A = 2000 \text{ kg/m}^3$$

- Calor específico da argamassa (C_A), obtida na mesma Tabela:

$$C_A = 1,00 \text{ kJ/kg.K}$$

- Condutividade Térmica da argamassa (λ_A), obtida na mesma Tabela:

$$\lambda_A = 1,15 \text{ W/(m.K)}$$

A) Resistência térmica do painel de bambu (R_T)

A espessura total do painel é de 0,0634 m e o comprimento do painel é de 1,00 m.

Para o cálculo da Resistência térmica da argamassa (R_A) tem-se:

$$R_A = 2 \frac{e_A}{\lambda_A} = 2 \times \frac{0,0193}{1,15} = 0,0335 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Para o cálculo da Resistência térmica do Bambu (R_B) tem-se:

$$R_B = 2 \frac{e_B}{\lambda_B} = 2 \times \frac{0,0023}{0,23} = 0,02 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Tem-se ainda:

$$\text{Área do bambu (} A_B \text{)} = 0,024 \times 1 = 0,024 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da argamassa (} A_A \text{)} = 0,024 \times 1 = 0,024 \text{ m}^2$$

A Resistência térmica do conjunto formado pela Argamassa e o Bambu (R_T) será:

$$R_T = \frac{2 A_B + 2 A_A}{2 \frac{A_B}{R_B} + 2 \frac{A_A}{R_A}} = \frac{0,048 + 0,048}{\frac{0,048}{0,02} + \frac{0,048}{0,0335}} = 0,025 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

B) Resistência térmica total do painel de bambu (R_{TP})

A Resistência térmica total (R_{TP}) do painel é de:

$$R_{TP} = R_T + R_{Si}$$

$$R_{Si} = 0,13 \rightarrow \text{Tabela A1} \rightarrow \text{Anexo A da NBR 15220-2 (ABNT, 2005)}$$

$$R_{TP} = 0,025 + 0,13 = 0,155 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_{TP} = 0,155 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

C) Transmitância térmica do painel de bambu (U_P)

A Transmitância térmica do painel (U_P) será de:

$$U_P = \frac{1}{R_{TP}} = \frac{1}{0,155}$$

$$U_P = 6,45 \text{ W/ (m}^2 \cdot \text{K)}$$

D) Capacidade térmica total do painel de bambu (C_{TP})

A Capacidade térmica total do painel (C_{TP}) é dada por:

$$C_{TP} = C_{TA} + C_{TB}$$

$$C_{TA} = 2 \times e_A \times C_A \times \rho_A = 2 \times 0,0193 \times 1 \times 2000 = 77,2 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{TB} = 2 \times e_B \times C_B \times \rho_B = 2 \times 0,0023 \times 1,34 \times 650 = 40,006 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{TP} = \frac{0,048 + 0,048}{\frac{0,048}{77,2} + \frac{0,048}{40,006}} = 52,70 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$C_{TP} = 52,70 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

A Capacidade térmica total do painel (C_{TP}) será de:

$$C_{TP} = 52,70 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Desprezando-se a capacidade térmica da câmara de ar no interior do bambu, o painel tem a seguinte Capacidade Térmica Total (C_{TP}):

$$C_{TP} = 52,70 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

E) Atraso Térmico (φ)

$$R_{TP} = 0,155 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$B_0 = C_{TP} - C_{\text{Text.}} = 52,70 - 0,0193 \times 1 \times 2000 = 14,1 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$B_0 = 14,1 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$B_1 = 0,226 \frac{B_0}{R_T} \left\{ \text{NBR 15220-2 (ABNT, 2005); Item 7.2} \rightarrow \text{Eq.13} \right.$$

$$B_1 = 0,226 \frac{14,1}{0,155} = 20,56$$

$$B_1 = 20,56 \text{ (m}^2.\text{K)/W}$$

$$B_2 = 0,205 \left(\frac{(\lambda \times \rho \times C)_{\text{ext}}}{R_T} \right) \times \left(R_{\text{ext}} - \frac{R_T - R_{\text{ext}}}{10} \right)$$

$$B_2 = 0,205 \frac{1,15 \times 2000 \times 1}{0,025} \cdot \left(0,0335 - \frac{0,025 - \left(\frac{0,0193}{1,15} \right)}{10} \right)$$

$$B_2 = 616,15 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

O atraso térmico (φ) será de:

$$\varphi = 1,382 R_T \sqrt{B_1 + B_2} \rightarrow \text{NBR 15220 - 2 (ABNT, 2005)} \rightarrow \text{Eq. 12}$$

$$\varphi = 1,382 \times 0,025 \sqrt{20,56 + 616,15} = 3,9 \text{ horas}$$

$$\varphi = 3,9 \text{ horas}$$

F) Fator de calor solar para (FS_o)

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,3$), tem-se:

$$FS_o = 4 \times 6,45 \times 0,3 = 7,74$$

$$FS_o = 7,74 \%$$

B) CONCRETO COM ENTULHO DE OBRA E DEMOLIÇÃO

Tem-se como referência para o concreto com entulho de obra e demolição, os dados descritos a seguir.

Adotando-se a dosagem de cimento de 200 Kg/m³, tem-se:

- Massa específica aparente do concreto (ρ_c):

$$\rho_c = 2000 \text{ kg/m}^3$$

- Calor específico do concreto (C_c):

$$C_c = 1,00 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$$

- Condutividade Térmica do concreto (λ_C):

$$\lambda_C = 0,7 \text{ W/(m.K)}$$

A) Resistência térmica total da parede de concreto (R_{TC})

Considerando a espessura da parede de concreto de 0,10m e sem revestimento, a Resistência térmica total da parede de concreto (R_{TC}) será de:

$$R_{TC} = \frac{C_P}{\lambda_P} = \frac{0,10}{0,70} = 0,14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$R_{TC} = 0,14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

B) Transmitância térmica da parede de concreto (U_C)

A Transmitância térmica da parede de concreto (U_C) será de:

$$U_C = \frac{1}{R_P} = \frac{1}{0,14} = 7,14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$U_C = 7,14 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

C) Capacidade térmica da parede de concreto (C_{TC})

A Capacidade térmica da parede de concreto (C_{TC}) será de:

$$C_{TC} = e \times c \times \rho = 0,10 \times 1,00 \times 2000 = 200 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$C_{TC} = 200 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

D) Atraso térmico (φ)

O Atraso térmico da parede de concreto (φ) será de:

$$\varphi = 0,7284 \sqrt{R_P \times C}$$

$$\varphi = 0,7284 \sqrt{0,14 \times 200} = 3,85 \text{ horas}$$

$$\varphi = 3,85 \text{ horas}$$

F) Fator de calor solar para (FS_o)

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,3$), tem-se:

$$FS_o = 4 \times 7,14 \times 0,3 = 7,99$$

$$FS_o = 7,74 \%$$

C) PAREDE DE TIJOLO MACIÇO REBOCADA NAS DUAS FACES

Tem-se como referência para a parede de tijolo maciço rebocada nas duas faces, os seguintes dados.

As dimensões do tijolo maciço são de 5 x 9 x 19cm.

Para a cerâmica, tem-se:

- Massa específica cerâmica:

$$\rho \text{ cerâmica} = 1600 \text{ kg/ m}^3$$

- Calor específico cerâmica:

$$C \text{ cerâmica} = 0,92 \text{ kJ/kg.K}$$

- Condutividade Térmica cerâmica:

$$\lambda \text{ cerâmica} = 0,90 \text{ W/m.K}$$

Para o reboco, tem-se:

- Massa específica reboco:

$$\rho \text{ reboco} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

- Calor específico reboco:

$$C_{\text{reboco}} = 1,00 \text{ kJ/kg.K}$$

- Condutividade Térmica reboco:

$$\lambda_{\text{reboco}} = 1,15 \text{ W/m.K}$$

A) Resistência térmica total da parede de tijolo maciço (R_{TTM})

A Resistência térmica total da parede de tijolo maciço será de:

$$R_{\text{TTM}} = 0,2996 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

B) Transmitância térmica da parede de tijolo maciço (U_{TM})

A Transmitância térmica da parede de tijolo maciço será de:

$$U_{\text{TM}} = \frac{1}{R_{\text{T}}} = \frac{1}{0,2996} = 3,34 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$U_{\text{TM}} = 3,34 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

C) Capacidade térmica da parede de tijolo maciço (C_{TTM})

A Capacidade térmica da parede de concreto será de:

$$C_{\text{TTM}} = e \times c \times \rho = 220 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$$

D) Atraso Térmico (φ)

O Atraso térmico da parede de concreto será de:

$$\varphi = 3,3 \text{ horas}$$

F) Fator de calor solar para (FS_o)

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,3$), tem-se:

$$FS_o = 4 \times 3,34 \times 0,3 = 4,0\%$$

$$FS_o = 4,0 \%$$

D) PAREDE DE TIJOLO FURADO DE SEIS FUROS REBOCADO EM AMBAS AS FACES

Serão descritos a seguir os dados referentes à parede de tijolo furado de seis furos, rebocado em ambas as faces. As dimensões do tijolo furado de seis furos são de 32 x 16 x 10 cm.

Para a cerâmica, tem-se:

- Massa específica da cerâmica:

$$\rho \text{ cerâmica} = 1600 \text{ Kg/ m}^3$$

- Calor específico da cerâmica:

$$C \text{ cerâmica} = 0,92 \text{ KJ/Kg.K}$$

- Condutividade térmica da cerâmica:

$$\lambda \text{ cerâmica} = 0,90 \text{ W/m.K}$$

Para a argamassa, tem-se:

- Massa específica da argamassa:

$$\rho \text{ argamassa} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

- Calor específico da argamassa:

$$C \text{ argamassa} = 1,00 \text{ kJ/(kg.K)}$$

- Condutividade térmica da argamassa:

$$\lambda \text{ argamassa} = 1,15 \text{ W/(m.K)}$$

A) Resistência térmica total da parede de tijolo furado de seis furos (R_{TTF})

A Resistência térmica total da parede de tijolo furado de seis furos será de:

$$R_{TTF} = 0,4117 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

B) Transmitância térmica da parede de tijolo furado de seis furos (U_{TF})

A Transmitância térmica da parede de tijolo furado de seis furos será de:

$$U_{TF} = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,4117} = 2,43 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$U_{TF} = 2,43 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

C) Capacidade térmica da parede de tijolo furado de seis furos (C_{TTF})

A Capacidade térmica da parede de tijolo furado de seis furos será de:

$$C_{TTF} = 160 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

D) Atraso Térmico (φ)

O Atraso térmico da parede de tijolo furado de seis furos será de:

$$\varphi = 3,6 \text{ horas}$$

E) Fator de calor solar para (FS_o)

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,5$), tem-se:

$$FS_o = 4 \times 2,38 \times 0,5 = 4,8$$

$$FS_o = 4,8 \%$$

E) PAREDE DE BLOCO DE CONCRETO

Os blocos de concreto avaliados possuem dimensões de 39 x 19 x 9cm. Para o cálculo do desempenho térmico da parede de bloco de concreto, são apresentados alguns dados a seguir.

Para o concreto, tem-se:

- Massa específica do bloco de concreto:

$$\rho_{\text{concreto}} = 2400 \text{ Kg}$$

- Calor específico do bloco de concreto:

$$C_{\text{concreto}} = 1,00 \text{ KJ/Kg.K}$$

- Condutividade Térmica do bloco de concreto:

$$\lambda_{\text{concreto}} = 1,75 \text{ W/m.K}$$

Para a câmara de ar interna do bloco de concreto, tem-se:

$$R_{\text{ar}} = 0,16 \text{ (m}^2\text{.K/W)} \rightarrow \text{tabela B1}$$

A) Resistência térmica total da parede de bloco de concreto (R_{TBC})

A Resistência Térmica total da parede de bloco de concreto será de:

$$R_{\text{TBC}} = 0,3012 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

B) Transmitância térmica da parede de bloco de concreto (U_{BC})

A Transmitância Térmica da parede de bloco de concreto será de:

$$U_{\text{BC}} = \frac{1}{R_{\text{T}}} = \frac{1}{0,3012} = 3,32 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

$$U_{\text{BC}} = 3,32 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

C) Capacidade térmica da parede de bloco de concreto (C_{TBC})

A Capacidade Térmica da parede de bloco de concreto será de:

$$C_{TBC} = 105 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

D) Atraso Térmico (φ)

O Atraso térmico da parede de bloco de concreto será de:

$$\varphi = 1,8 \text{ horas}$$

F) Fator de calor solar para (FS_o)

$$FS_o = 4 \times U \times \alpha$$

Utilizando cor externa branca ($\alpha = 0,5$), tem-se:

$$FS_o = 4 \times 3,32 \times 0,5 = 6,60\%$$

$$FS_o = 6,60 \%$$

2) RELAÇÃO DE PARÂMETROS TÉRMICOS ENTRE OS SISTEMAS DE VEDAÇÃO ESTUDADOS

Comparando-se os resultados obtidos nos cálculos de desempenho térmico de alguns sistemas construtivos de vedação das habitações econômicas, feitos a partir dos critérios normalizados da NBR 15220 – Parte 2 (ABNT, 2005), chegou-se aos valores descritos na Tabela A.1.

Tabela A.1 - Parâmetros Térmicos de Paredes

TIPO DE PAREDE	U (W/m ² .K)	R _T (m ² .K/W)	φ (Horas)	FS ₀ (Fator Solar)
Bambu	6,45	0,155	3,9	7,74
Concreto com entulho	7,14	0,140	3,3	7,99
Tijolo Maciço	3,34	0,299	3,3	4,00
Tijolo Furado 6 furos	2,43	0,411	3,6	4,80
Bloco de concreto	3,32	0,301	1,8	6,60

U= Transmitância térmica

R_T= Resistência térmica

φ= Atraso térmico

FS₀ = Fator solar para elementos opacos

A resistência térmica total do painel de bambu foi calculada considerando a composição material do elemento construtivo, formado pelas camadas de argamassa, bambu e argamassa. De acordo com os resultados apresentados na Tabela A.1, observou-se que o painel de bambu apresentou maior atraso térmico de calor específico (3,9 horas), em comparação com os outros sistemas de vedação vertical. Dessa forma, comprova-se que foi maior o tempo decorrido entre a variação térmica de uma superfície à outra do painel, sendo que para um painel de vedação, este apresenta-se como um bom resultado.