

RESISTÊNCIA MECÂNICA DE PAINÉIS DE BAMBU E ARGAMASSA COM RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA CONSTRUÇÕES DE INTERESSE SOCIAL

Antônio da Silva Sobrinho Júnior*
Sandro Marden Torres**
Normando Perazzo Barbosa***

RESUMO

A utilização de materiais que envolvam menor quantidade de energia no seu processo produtivo, que sejam mais facilmente reabsorvidos pela Natureza e que gerem menos poluentes e resíduos é de grande interesse para o futuro da humanidade. Processos que facilitem a construção de moradias podem contribuir como alternativas para as companhias de habitação popular, minimizando o problema da habitação para significativa parcela da população brasileira. O bambu é um material de boas propriedades de engenharia, disponível no meio rural, mas ainda sub-utilizado no Brasil. Neste trabalho apresenta-se um painel pré-fabricado em que colmos de bambu são os elementos resistentes. Foram testados experimentalmente três painéis com as dimensões de 10 cm x 40 cm x 220 cm, compostos por quatro colmos de bambu paralelos e protegidos por uma matriz cimentícia, de baixa densidade e incorporando resíduos industriais. Verificou-se sua resistência mecânica em ensaios de compressão, nos quais a carga foi aplicada uniformemente distribuída no topo dos painéis, em dois ciclos de carregamento. Foram obtidas suas cargas e o modo de ruptura. Os resultados mostraram o excelente desempenho dos painéis como elemento estrutural, apresentando grande capacidade de carga, superior até mesmo à de paredes de alvenaria estrutural de 14 cm de espessura, testadas no mesmo laboratório. Para as cargas de serviço, não se percebeu nenhum dano no painel e o desprendimento da argamassa só ocorreu nas vizinhanças da ruptura ou mesmo após o pico de carga. Do ponto de vista estrutural, os painéis podem ser empregados em construções, em especial, de interesse social, e, com apoio de órgãos governamentais, poder-se-á produzir rapidamente unidades habitacionais e contribuir para a geração de emprego e renda em comunidades urbanas e rurais.

Palavras-chave: Bambu. Resíduos. Sustentabilidade. Painéis Construtivos. Construções.

*Professor adjunto do Departamento de Arquitetura da UFPB. Professor dos cursos de engenharia civil e arquitetura do UNIPÊ. E.mail: sobrinhojr@hotmail.com

**Professor adjunto do Departamento de Engenharia de Materiais da UFPB. E.mail: sandromarden.torres@yahoo.co.uk

***Professor titular do Departamento de Engenharia Civil da UFPB. E.mail: nperazzob@yahoo.com.br.

1 INTRODUÇÃO

O déficit habitacional, potencializado pelo aumento das favelas e do número de pessoas morando nas ruas, é uma situação crítica e real nos países em desenvolvimento. Estima-se que sejam necessários cerca de 600 milhões de unidades habitacionais para que todos na Terra possam ter um abrigo decente. Embora os materiais de construção industrializados possam suprir esta demanda, há preocupações quanto ao seu potencial de impacto energético e ambiental.

Os materiais industrializados convencionais consomem muita energia e lançam poluentes na atmosfera no seu processo de fabricação, além de gerarem grandes quantidades de resíduos dificilmente reabsorvidos pela natureza. Neste sentido, o uso de materiais ecologicamente amigáveis tem sido proposto através da incorporação de tecnologias não-convencionais, tais como, por exemplo, o uso estrutural do bambu (GHAVAMI; MARINHO, 2003).

A busca de alternativas que envolvam sistemas construtivos racionais, economicamente viáveis, de boa qualidade, que maximizem as potencialidades energéticas e materiais dos componentes e que sejam menos agressivos à natureza

deve ser uma preocupação da engenharia atual (GHAVAMI; MARINHO, 2005; GHAVAMI, 2005).

Entre os materiais ecologicamente amigáveis e de grande potencial para o uso na engenharia está o bambu. Suas boas características físicas e mecânicas, bem como sua forma geométrica peculiar, seu baixo custo e a facilidade de obtenção tornam-no largamente utilizado como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia e em alguns países da América Latina (LIESE, 1991; AMADA; UNTÃO, 2001; CHUNG; YU, 2002; BERALDO; RIVERO, 2003; YU et al., 2003; LIMA J.R. et al., 2005; VAN DER LUGT et al., 2006). A Colômbia, o Peru e o Equador são os países sul-americanos que mais empregam o bambu na construção, confirmando a sua potencialidade (Lopes et al., 2002).

A utilização de fibras em concretos é crescente, e estas podem ser de aço, sintéticas ou vegetais. Dentre as vantagens da utilização de fibras no concreto estão: a diminuição da retração e o aumento da resistência à flexão. Segundo Murad (2007), as fibras de côco, sisal,

cinza de casca de arroz e o bambu apresentam propriedades similares a dos materiais tradicionais, podendo substituí-los, obtendo-se assim vantagens não só econômicas, mas também de ordem técnica.

Os resíduos produzidos pela construção civil e pelas indústrias podem gerar graves problemas ao meio ambiente, tais como: grande ocupação de espaços em aterros sanitários, enchentes e elevado período de decomposição. É de suma importância para a sustentabilidade do meio ambiente, a reciclagem ou o reaproveitamento de materiais, além da diminuição dos custos e da energia no processo de fabricação de novos produtos.

Este trabalho se propõe a avaliar a resistência à compressão de painéis nos quais o bambu é o elemento resistente, protegidos por argamassas leves contendo resíduos industriais (resíduo da indústria de sandálias contendo etileno acetato de vinila – EVA- e poliestireno expandido-EPS) e naturais (resíduos de bambu triturados), com a finalidade de utilizá-los em construções de interesse social.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A) BAMBU

Foram usados bambus maduros da espécie *Bambusa vulgaris*, provenientes da Universidade Federal da Paraíba, na forma de colmos inteiros e cortados na forma de fibras. As aqui chamadas fibras de bambu na realidade são partículas alongadas, com comprimentos de 2 a 5 cm e largura variável de poucos milímetros a cerca de 1 cm, como se pode ver na Figura 1. Os colmos foram submetidos à secagem e a tratamentos com óleo diesel.

Figura 1 - Fibra de bambu



B) MATERIAIS CIMENTÍCIOS

Foram empregados como ligantes um cimento Portland composto CII-Z 32 e uma cal CH-I, disponíveis facilmente no mercado.

C) AREIA

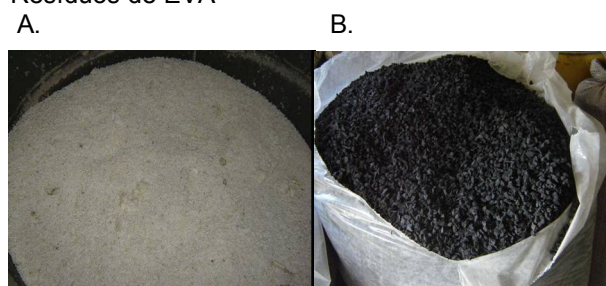
Foi empregada areia proveniente do rio Caxitú, localizado no Município do Conde-PB. Essa areia tem massa

específica de 2,65g/cm³, módulo de finura de 2,50mm e dimensão máxima de 2,40 mm. Antes do seu emprego, foi lavada e posta a secar.

D) RESÍDUOS INDUSTRIAIS

Foram testados nas argamassas resíduos industriais, visando diminuir seu peso específico. No caso, foram usados resíduos de EPS (poliestireno expandido) e de fábrica de sandálias (EVA - etileno vinil acetato), mostrados na Figura 2. O EPS estava na forma de pérolas (esferas de cerca de 4,00 mm de diâmetro) e os resíduos de EVA triturados tinham dimensão aproximada de 8,00 mm.

Figura 2 - A. Resíduos de EPS; Figura 2B. Resíduos de EVA



E) ADITIVOS

Foram utilizados um adesivo (resina sintética) e uma resina epóxi, disponíveis no mercado.

F) OBTENÇÃO DA ARGAMASSA

A otimização da composição das argamassas de revestimento dos colmos de bambu foi feita através de ensaios experimentais. As composições foram otimizadas de maneira a obter resistências mínimas de 3MPa e menor densidade aparente possível. Os principais parâmetros analisados foram: o teor de substituição de areia por resíduo, o tipo de resíduo, o tipo e o teor de fibras naturais (sisal e bambu). Essa otimização pode ser vista em Sobrinho Jr., (2006). No presente trabalho, apenas as argamassas otimizadas foram utilizadas.

A Tabela 1 indica o traço volumétrico das argamassas, a resistência obtida e a densidade.

Tabela 1- Traços das argamassas, resistência à compressão, densidade

Painel	Traço	Resistência (MPa)	Densidade
1	cimento:cal:areia:EPS 1:1:1:1,5	8,0	1,32
2	cimento:cal:areia:EVA 1:1:1:1,5	7,5	1,60
3	cim:cal:areia:EPS:fibra bambu 1:1:1:1,5:1	3,1	1,23

G) CONFECÇÃO DOS PAINÉIS

Foram produzidas fôrmas de madeira com dimensões internas de 40 cm x 220 cm x 10 cm, dentro das quais foram posicionados quatro colmos de bambu, com diâmetro aproximado de 6 cm, para-

lelos entre si (Figura 3). Para evitar que os colmos se deslocassem durante o lançamento da argamassa, eles foram perfurados com broca, e taliscas, também de bambu, foram postas atravessando todos eles, prendendo-os entre si, em pelo menos seis pontos ao longo do comprimento. Os colmos foram previamente lixados e pincelados com adesivo. A argamassa foi lançada e o adensamento feito em mesa vibratória. Foi dado um acabamento manual na superfície exposta, que foi, então, coberta com filme de PVC, para evitar a evaporação rápida da água de amassamento e diminuir a presença de fissuras. A desforma foi feita após 7 dias, e os painéis ficaram expostos ao ar por mais 21 dias.

Figura 3 - Colmos de bambu na fôrma



H) EXPERIMENTAÇÃO DOS PAINÉIS

Foram ensaiados três painéis, em pórtico provido de macaco hidráulico de 700 kN de capacidade (Figura 4). Eles foram instrumentados com dois extensômetros mecânicos para acompanhamento de deformações, sendo um deles fixado no bambu e outro na argamassa. O carregamento foi aplicado em dois ciclos: o primeiro até 60 kN, e o segundo até a ruptura.

Figura 4 - Vista de painel instrumentado para ensaio.



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A) COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS PAINÉIS

Os painéis 1 e 2 apresentaram fissuras paralelas ao colmo, decorrentes da variação dimensional dos colmos de bambu e à própria retração da argamassa que não continha fibras. As fissuras fo-

ram, então, preenchidas com epóxi, para a realização do ensaio. Já o terceiro painel, com fibras de bambu, e argamassa de menor resistência, apresentou apenas uma fissura de pequena abertura. Sobrinho Jr. (2006) mostrou que a fissuração dos painéis paralela aos colmos é influenciada pelo diâmetro deles em virtude da variação dimensional ocorrida pela movimentação da água na estrutura porosa do bambu. Desta forma, diâmetros menores reduzem ou mesmo eliminam a fissuração.

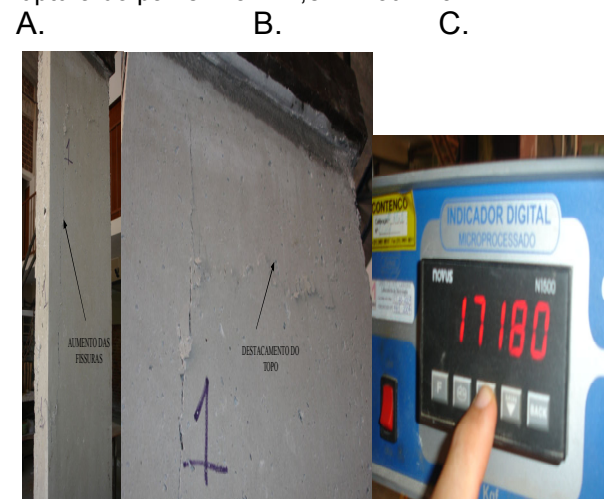
B) ENSAIO DO PAINEL 1

O ensaio do painel 1 é mostrado nas Figuras 5 e 6. A resistência da argamassa era de 8 MPa, sem fibras.

Figura 5 - Painel 1 com fissuras preenchidas com epóxi antes do ensaio

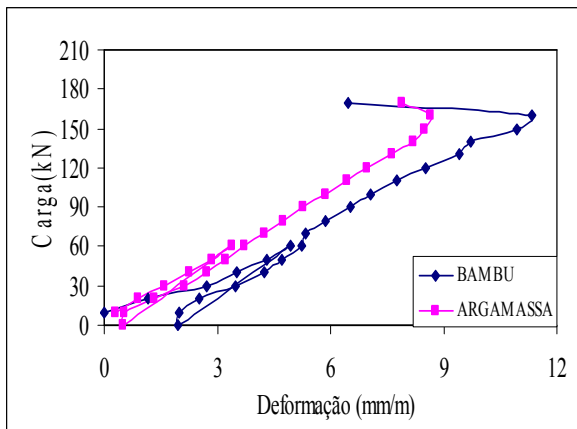


Figura 6 - Vizinhanças da ruptura: A. Aumento de fissuras; B. Destacamento do topo; C. Carga de ruptura do painel 1 a 171,8 kN ou 429 kN/m



Os valores de carga e deformação do bambu e da argamassa do painel 1 são mostrados na Figura 7. Observa-se um comportamento bastante linear de ambos os materiais, até níveis elevados de carregamento. O comportamento linear vai até pouco mais de 120 kN, o que corresponde a uma carga distribuída por metro linear de parede da ordem de 300 kN/m. Até esse nível de carga, não se notou nenhuma separação entre os materiais bambu e argamassa. Só nas vizinhanças da ruptura é que as fissuras pré-existent começaram a aumentar sua abertura e apareciam pequenos destacamentos da argamassa.

Figura 7 - Carga x deformação do painel 1



C) ENSAIO DO PAINEL 2

O ensaio do painel 2 é mostrado nas Figuras 8 e 9. A resistência da argamassa, também sem fibras, foi da ordem de 7,5 MPa.

Figura 8 - Painel com fissuras preenchidas com epóxi; Figura 8B. Painel prestes a romper a 190 KN

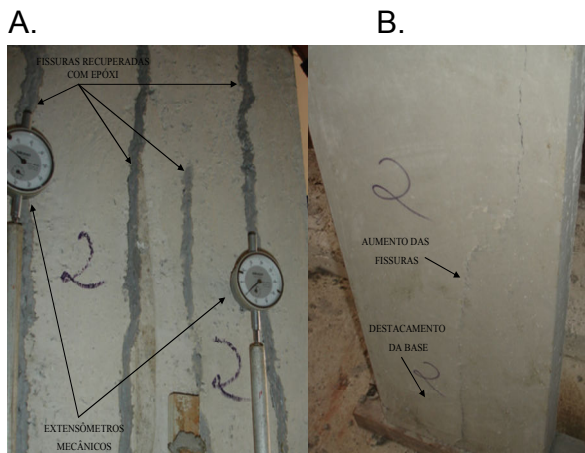
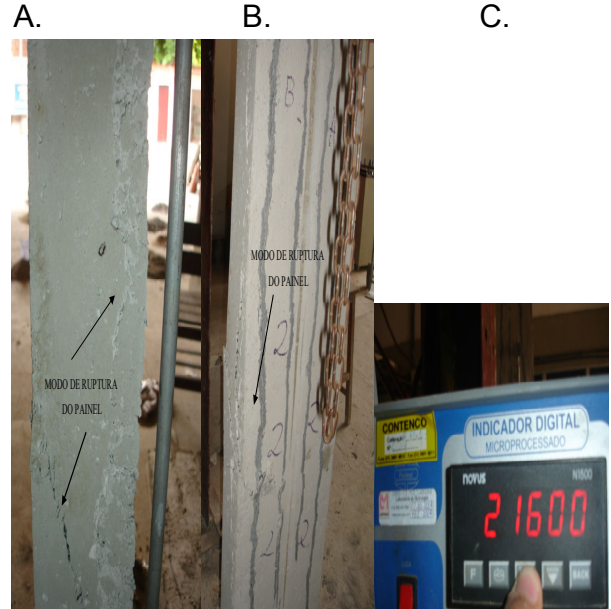


Figura 9 - 9A e 9B. Modo de ruptura do painel 2; Figura 9C. Carga de ruptura do painel 2 a 216,00 kN ou 540 kN/m



As relações carga-deformação do bambu e da argamassa do painel 2 são mostradas na Figura 10. Vê-se que houve algum problema com o extensômetro instalado na argamassa, porém a idéia de linearidade continua a existir até proximidades da carga de ruptura. Esta só veio a acontecer sob 216 kN, o que corresponde a 540 kN/m.

Figura 10 - Carga x deformação do painel 2

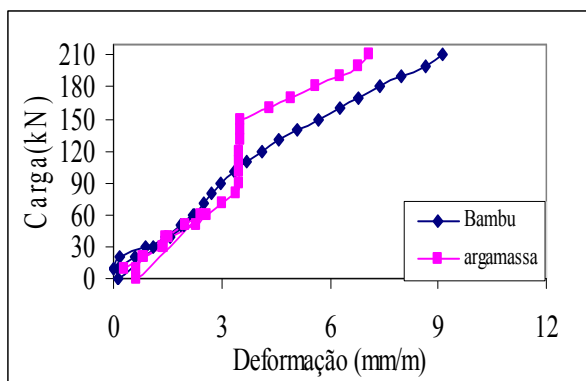
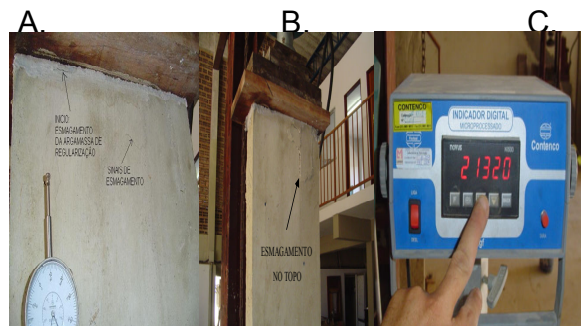


Figura 12- A. Início do esmagamento da argamassa de regularização; Figura 11B e 11C. Início de esmagamento do topo à 213,20 kN ou 533 kN/m



D) ENSAIO DO PAINEL 3

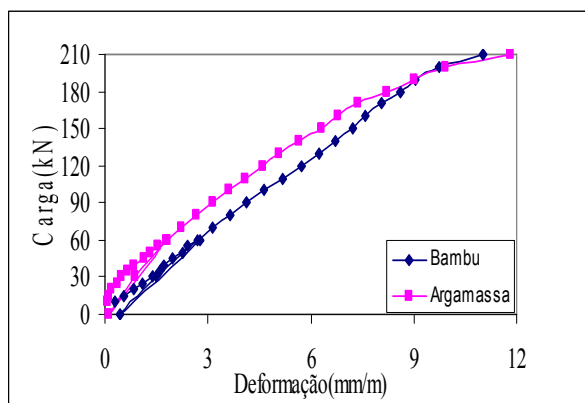
O painel 3 foi moldado com argamassa de menor resistência, por volta de 3 MPa, e houve a incorporação de fibras de bambu. Resultou que o painel já não apresentou a mesma fissuração dos anteriores, apenas uma fissura discreta e de pequena abertura se manifestou, podendo-se creditar à ação das fibras esse melhor desempenho. Na Figuras 11 e 12, pode-se ver detalhes do ensaio.

Figura 11 - A. Parede antes do ensaio; Figura 11B. Parede em bom estado com 200 kN; Figura 11C. Parte inferior em perfeitas condições.



Os valores de carga e deformação do bambu e da argamassa do painel 3 são mostrados na Figura 13. Pode-se novamente observar linearidade no comportamento em serviço. O painel permaneceu perfeito até proximidades da ruptura, que se deu a uma carga correspondente a 533 kN/m. Ela ocorreu por esmagamento dos colmos de bambu nas regiões de aplicação da carga. O destacamento da argamassa só começou a acontecer após ter sido atingido o pico de carga, atestando o bom comportamento estrutural do painel.

Figura 13 - Carga x deformação da parede 3



E) CONSIDERAÇÕES SOBRE O COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS PAINÉIS

Nota-se que uma parede feita com esses painéis, trabalhando como apoio central de duas lajes pré-moldadas de 4 m de vão, com carregamento de 6 kN/m^2 , teria uma carga de serviço no topo dos painéis de 24 kN/m . Se sobre eles existir ainda uma outra parede de 6 kN/m , a carga total chegaria a 30 kN/m . Observou-se que, nos quatro painéis ensaiados, a menor carga de ruptura foi 392 kN/m , portanto 13 vezes maior. Assim, do ponto de vista da segurança, a resistência dos painéis é muito superior à necessária.

Para essa carga de serviço, os ensaios mostraram que não houve o menor sinal de dano estrutural visível ao painel. Nos painéis com fissuração inicial, as fissuras longitudinais pré-existentes, à medida que a carga era aplicada, aumenta-

ram a abertura, porém sempre sob cargas muito superiores a 30 kN/m . A ruptura começou por esmagamento no topo ou na base (algumas vezes, primeiro de argamassa de regularização). A real separação da argamassa do bambu ocorreu somente nas vizinhanças da ruptura ou mesmo após a carga de pico no caso da argamassa com fibras.

O peso específico dos painéis foi da ordem de 10 kN/m^3 . Considerando-se sua pequena espessura, a carga de peso próprio por metro linear de parede vai ser muito inferior àquela de uma parede de blocos cerâmicos vazados que depois de revestidos têm peso específico da ordem de 14 kN/m^3 .

A título de comparação, devem ser considerados os resultados de outros tipos de painéis testados no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas da UFPB. Foram ensaiadas paredes de tijolos de adobe (Gonçalves, 2005), tijolos prensados (Silva, 2003) e de tijolos cerâmicos estruturais (Barbosa, 2003). Todas tinham altura total de 260 cm e espessura de 14 cm, o que dá uma relação $h/d = 18,5$, ao passo que esta mesma relação para o painel de bambu é de 22. Na Tabela 2, veem-se os resultados das cargas de ruptura, expressas em kN/m .

Tabela 2 - Carga por metro de paredes de vários métodos construtivos

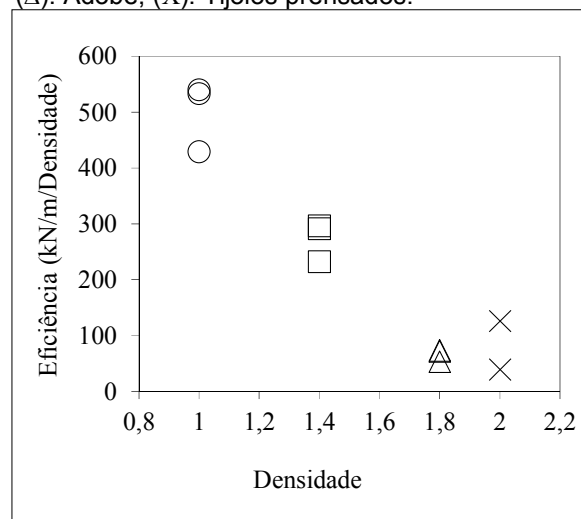
Método Construtivo	Parede 1 (kN/m)	Parede 1 (kN/m)	Parede 1 (kN/m)	Carga média (kN/m)
Painéis de bambu	429	540	533	501
Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos	415	408	325	383
Adobe	96	133	129	119
Tijolos prensados	78*	252**		165

* estabilizados com 4% de cimento; ** estabilizados com 6% de cimento

O desempenho dos painéis de bambu foi superior mesmo à alvenaria de blocos estruturais. Além disso, enquanto as demais paredes apresentaram ruptura frágil, os painéis de bambu apresentaram notável ductilidade. É importante também ressaltar que o peso próprio destes painéis é significativamente inferior ao de alvenarias de blocos, dependendo do traço da argamassa (SOBRINHO Jr., 2006).

Se for observada a carga máxima resistida pelos elementos estruturais da Tabela 2 dividida pela densidade do material envolvido, considerando-se que a dos painéis de bambu é 1,0; a da alvenaria estrutural 1,4; a de adobe 1,8; e a de tijolos prensados 2,0, pode-se notar na Figura 14 que o painel de bambu é o que apresenta maior eficiência, sob este ponto de vista.

Figura 14 - Eficiência carga máxima/densidade. (O): Painéis com bambu; (□): Alvenaria estrutural; (Δ): Adobe; (X): Tijolos prensados.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho de pesquisa, procurou-se desenvolver painéis que possam ser usados em construções, em especial, habitações de interesse social. Pode-se concluir que:

A capacidade de carga dos painéis depende muito mais da área dos colmos e de sua linearidade do que da resistência da argamassa;

Fazendo-se uma fôrma que apresente nas suas laterais encaixes tipo macho e fêmea, a construção pode ganhar rigidez e velocidade de execução;

As incorporações de resíduos industriais reduzem a densidade dos painéis, fato este importante para o manu-

seio das peças, devido à redução do peso próprio da estrutura;

Todos os painéis apresentaram fissuras iniciais, paralelas aos colmos, que não afetaram a resistência à compressão. Quando foram adicionadas fibras de bambu ao micro-concreto, houve uma enorme redução dessas fissuras.

Os painéis, apesar de maior esbeltez, apresentaram grande capacidade de carga, superior a de outras paredes de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, de adobe e de tijolos prensados.

Do ponto de vista estrutural, painéis reforçados com bambu, resíduos industriais e fibras naturais formam uma alternativa viável para o desenvolvimento de sistemas construtivos versáteis, com reduzido impacto ambiental, incorporando resíduos industriais, consumindo materiais de fontes renováveis e de baixo consumo energético de produção. Entretanto, ainda torna-se necessário estudar aspectos ligados à durabilidade e tratamentos para eliminar/reduzir as fissuras iniciais, não avaliados no presente trabalho.

MECHANICAL STRENGTH OF BAMBOO AND MORTAR PANELS WITH INDUSTRIAL WASTE FOR SOCIAL INTEREST CONSTRUCTIONS

ABSTRACT

The use of materials that involve less energy in its production process, which are more easily absorbed by nature and that generate less pollutants and waste is of great interest for the future of humanity. Processes that facilitate housing construction could serve as alternatives to public housing companies, minimizing the problem of housing for a significant portion of the Brazilian population. Bamboo is a good engineering properties material available in rural areas, but still not very widespread in Brazil. In this paper, prefabricated panel are tested, in which the bamboo stems are the resistant elements. Three panels with the dimensions of 10 cm x 40 cm x 220cm, were tested experimentally. They were composed by four parallel bamboo stems protected by a cementitious composite, of low density, and incorporating industrial residues. The strength was verified in compression tests. The load was uniformly applied on the top of the panels, in two cycles. The maximum load and the mode of rupture were evaluated. The results showed the excellent behavior of the panels as structural element, withstanding great load capacity, superior even to load bearing masonry of 14 cm of thickness, tested at the same Laboratory. As far as the service loads are concerned, no damage was noticed in the panels and the detachment of the mortar only happened either close to the rupture load or even after the load peak. As far as mechanical properties are concerned, the panels can be used in constructions, in particular social interest. With the support of government

agencies, they could be produced quickly to housing units and contribute to the generation of employment and income in urban and rural communities.

Keywords: Bamboo. Residues. Sustainable. Constructive Panels. Constructions.

Recebido em: 29/04/2015

Aceito em: 03/06/2015

REFERÊNCIAS

- AMADA, S.; UNTÃO, S. Fracture properties of bamboo. **Composites Part B**, 32, p.451-459, 2001. Campina Grande, v.9, n.1, p.107-114, 2005.
- BARBOSA, N. P. **Relatório técnico de ensaio à compressão simples de paredes de Alvenaria estrutural com blocos cerâmicos**. João Pessoa: [S.n.], 2003. GONÇALVES, J. S. **Contribuição para a normalização da alvenaria estrutural com o uso de tijolos de terra crua para construções urbanas**. João Pessoa: UFPB, 2005.
- BERALDO, A. L.; RIVERO, L. A. Bambu laminado colado (BLC). **Floresta e Ambiente**, v. 10, n.2, p.36 – 46, 2003. LIMA JR., H. C. ; WILRICH, F. L.; FABRO, G. Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*. Parte II: Modelagem e critérios de dimensionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.652-659, 2005.
- CHUNG, K.F.; YU, W.K. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. **Engineering Structures**, v.24, p.429–442, 2002. LOPES, W. G. R.; FREIRE, W. J.; FERREIRA, G. C. S.Ensaio de arrancamento e de empuxamento aplicados a taliscas de bambu encravadas em corpos-de-prova de solo cimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.504-510, 2002.
- GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement & Concrete Composites**, v.27 , p. 637–649, 2005. LIESE, W. Progress in bamboo research. **The Journal of the American Bamboo Society**, v. 8 , n. 1, 1991.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades geométricas e mecânicas de colmos de bambu para a aplicação em construções. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.415-424, 2003. MURAD, J. R. L. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu *Guadua weberbaueri* do Acre**. 2007. Dissertação (Mestrado em
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**,

Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, E. P. **Incorporação de resíduo da indústria de calçados (EVA-Etileno Vinil acetato) em tijolos prensados de terra crua.** 2003. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

SOBRINHO JR., A. S. **Comportamento estrutural de painéis contendo bambu e resíduos industriais para habitações de interesse social.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

VAN DER LUGT, P.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. A.J. F.; JANSSEN, J.J.A. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, 20, p. 648–656, 2006.

YU, W. K.; CHUNG, K. F.; CHAN, S. L. Column buckling of structural bamboo. **Engineering Structures**, v.25, p.755–768, 2003.