

SOUSA; Heitor Fernandes de ¹, JÚNIOR; Antonio Jairo Viana de Andrade², BRITTO; Daniel Cavalho de ³, OLIVEIRA; Francisca das Chagas ⁴, SANTOS; Hudson Chagas dos⁵, FALCÃO; Milton de Sousa⁶

RESUMO

A busca por materiais alternativos tem sido cada vez mais crescente, tendo em vista que a atual forma de crescimento e consumo da humanidade é insustentável. O interesse por essa busca, aliado aos avanços tecnológicos, pode abrir portas para um desenvolvimento que pensa em gerações futuras. Com isso, é proposto neste trabalho o uso de bambu como material alternativo ao aço em concreto para vergas e/ou contra vergas. Isso serviria de uma maneira econômica favorável pela facilidade de estabelecer uma fonte ampla de bambu, pelo fato de ser um material que pode ser reflorestado e, ao contrário do aço, não necessita de uma grande transformação de energia e utilização de outros recursos que podem prejudicar o meio ambiente para serem adquiridos. Para isso, admitiu-se uma estrutura com as seguintes dimensões: 1,4m de comprimento, 0,15m de altura e 0,15m de largura, sendo submetida a 2m de alvenaria, ou seja, semelhantes às usadas em vergas e/ou contra vergas. Fez-se o dimensionamento da armação, segundo a norma pertinente, resultando em 4 barras longitudinais de diâmetro 5mm e estribos de 42cm, com 9cm de largura e altura e dobras de 3cm. O aço usado foi o CA-50, para dimensionamento, concreto C25. Na estrutura com bambu, utilizou-se a espécie *Bambusa vulgaris vittata*, conhecida como Bambu Listrado, coletada em bambuzais próximos ao município de José de Freitas-PI. Foram moldados corpos de prova prismáticos apenas com concreto, com aço e com bambu. Os resultados mostraram um acréscimo de 16,94% na resistência do concreto, quando utilizado o bambu, e 105,28%, quando feito com aço. Ou seja, o material de fato acrescentou resistência, mesmo que inferior ao aço, podendo ser aplicado em situações que não exigem tanta resistência. 1.

INTRODUÇÃO A indústria da construção civil está em constante busca por inovação. De acordo com Lombardi Filho (2017), na década de 90, a construção civil iniciou uma reformulação, impulsionada pela concorrência do mercado financeiro e viu-se obrigada a investir em novos métodos construtivos, na racionalização de processos e na redução de desperdícios. No entanto, o setor é também o responsável por severos impactos ambientais, empregando recursos naturais e tornando-se um dos maiores emissores de gases que geram o aquecimento global, como no processo de fabricação e aplicação da cal, cimento e aço (BARBALHO; GARCIA; SILVA, 2018). Em meio a essa inovação, motivada pela necessidade de reduzir os impactos causados pelo próprio setor, surge o propósito de materiais alternativos de menor impacto ambiental. Entre esses, o bambu, que segundo Barbalho, Garcia e Silva (2018), possui grande desempenho no desenvolvimento sustentável, por se tratar de uma matéria-prima renovável. Além disso, os autores destacam que, devido às propriedades botânicas e físicas, o bambu apresenta elevada resistência a esforços de compressão e tração, o que possibilita aplicação em pontes, estruturas como vigas, lajes, forros e etc. Sendo assim, o presente trabalho se justifica dessa necessidade de poupar os recursos dispostos na natureza, bem como reduzir os impactos causados pelo seu consumo e vê na utilização de materiais alternativos uma forma de amenizá-los. É importante lembrar que o atual ritmo de produção e consumo de recursos naturais não podem ser sustentados indefinidamente. Sendo assim, toda forma de reduzir esses impactos deve ser cuidadosamente analisada. 2. OBJETIVO Esta pesquisa teve por objetivo sondar as propriedades do bambu e utilizá-lo em substituição ao

¹ Instituto Federal do Piauí, heitorfcivil@gmail.com

² Instituto Camillo Filho, antjairoengcivil@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, danielcbritto@gmail.com

⁴ Instituto Federal do Piauí, francisca.mat@hotmail.com

⁵ Instituto Federal do Piauí, hudson@ifpi.edu.br

⁶ Universidade Federal do Piauí, st.milton@gmail.com

aço na confecção do concreto armado, analisando-o principalmente quando submetido a esforços de flexão. 3. METODOLOGIA Por questões de logística, como também por limitações de alguns recursos, os elementos estudados para substituir o aço por bambu foram estruturas semelhantes a vergas, por se tratarem de elementos simples e que não necessitam de elevada resistência. Sendo assim, admitiu-se uma estrutura com as seguintes dimensões: 1,4m de comprimento, 0,15m de altura e 0,15m de largura, sendo submetida a 2m de alvenaria. Os procedimentos de dimensionamento apresentados a seguir seguem as diretrizes de dimensionamento da NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Considerando o peso específico do concreto armado, da alvenaria e do reboco de 25 KN/m³, 13 KN/m³ e 19 KN/m³, respectivamente, e o uso de tijolos de 6 furos, obteve-se o peso próprio do concreto de 0,56 KN/m, o peso da parede considerada de 4,62 KN/m e um peso total de 5,19 KN/m. Com esses resultados, e com o uso do software Ftool, obteve-se os esforços solicitantes da estrutura e obteve-se um momento fletor de 1,3KNm e esforço cortante de 3,6KN. Diante das informações apresentadas, utilizando-se o coeficiente de majoração do concreto de 1,4, obteve-se um momento de cálculo (Md) igual a 128KNm. Em seguida, calculou-se a altura útil d, considerando o cobrimento igual a 3 cm, a altura útil foi obtida através e o valor encontrado foi de 10,5 cm. A partir deste ponto, usou-se os dados calculados para determinar o coeficiente kc e ks, que servem para determinar a quantidade de área necessária de armadura longitudinal. Com b sendo a base da verga e A_s a área de armadura longitudinal, obtém uma área necessária igual a 0,42 cm². Com isso, utilizando barras de aço de diâmetro de 5 mm, as quais possuem área de 0,2 cm², seria necessário utilizar 2 barras. Para o cálculo do estribo, adotou-se o cálculo de armadura mínima, e o método apresentado por Pinheiro (2004). Considerou-se o concreto de ordem C25 e o aço CA-50, portanto o valor de p_{mín} é 0,1026. Com isso, obtém-se o valor da armadura mínima igual a 1,5 cm², sendo necessário dois ramos no estribo, considerando-o como uma barra de 5mm, tem-se o espaçamento 0,75 cm²/m, o que resulta em 1 estribo a cada 20cm. Assim, a estrutura ficou estabelecida com 4 barras longitudinais de 5 mm e estribos de 42 cm de comprimento, sendo 9 cm de altura e de largura, com sobras de 3 cm. Com isso, encontrou-se os dados necessários para simular a verga necessária e verificar se o bambu consegue substituir o aço nesse quesito, nas mesmas condições. 3.1

MATERIAIS O concreto produzido no estudo era composto por Cimento Portland, agregado miúdo e gráudo naturais e água tratada. O cimento era do tipo Composto com Escória, ou o CP-II-E-32, o agregado miúdo utilizado foi a areia natural já seca, comercialmente denominada “areia média”, o agregado gráudo foi o seixo e aço do tipo CA-50, utilizado para montar armaduras de barras de 5 mm de diâmetro, sendo 4 barras longitudinais de 44 cm montadas com 3 estribos de 9 cm x 9 cm, cada. Por fim, o bambu, conhecido popularmente como Bambu Listrado ou Bambu Verde-Amarelo, o *Bambusa vulgaris vittata* foi a espécie utilizada neste estudo, bastante cultivada no Brasil. Para o estudo, foram coletadas amostras de aproximadamente 50 cm de comprimento de bambuzais próximo ao município de José de Freitas-PI. A fim de analisar a impermeabilização e proteção de uma das amostras do bambu, foi utilizada a tinta asfáltica Neutrol, da marca Vedacit. Todos os materiais foram escolhidos pelo fato de serem de fácil acesso na região e tradicionalmente utilizados. Foram utilizados moldes prismáticos para formar corpos-de-prova com dimensões de 15x15x50cm (dimensões do molde), de acordo com a norma NBR 12142/2010 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. 3.2 MÉTODOS 3.2.1 Especificação do estudo Adotou-se o traço 1:2:3 para produção do concreto, um traço padrão. O preenchimento do corpo-de-prova foi feito de acordo com a norma ABNT NBR 5738/2015 – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. No preenchimento do molde com bambu, foram colocadas camadas de concreto gradativamente, ao adicionar a primeira camada de concreto, foi introduzida uma peça de bambu com um comprimento reduzido de 3 cm de cada extremo do molde,

¹ Instituto Federal do Piauí, heitorfcivil@gmail.com

² Instituto Camillo Filho, antjairoengcivil@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, danielcbrito@gmail.com

⁴ Instituto Federal do Piauí, francisca.mat@hotmail.com

⁵ Instituto Federal do Piauí, hudson@ifpi.edu.br

⁶ Universidade Federal do Piauí, st.milton@gmail.com

correspondendo a uma regra de cobertura da amostra, para que sejam posicionadas nos pontos de concentração de tração. A ideia de realizar os testes com bambu se baseiam na norma ISO N313 22156/2001 – Bamboo Structural Design. Moldaram-se 9 corpos-de-prova: sendo 3 com bambu, 3 com armaduras de aço e 3 utilizando somente o concreto. E a partir disso, foram rompidos após 28 dias de cura submersos em água. Em um dos corpos-de-prova com bambu, foi aplicado Neutrol na amostra de bambu, a fim de impermeabilizá-la, isso para analisar como o bambu se comportará sob efeitos dessa substância no decorrer dos dias de cura de sua idade. Para realizar os ensaios de flexão, foi usada como base a norma NBR 12142/2010 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos-de-prova prismáticos. De acordo com ela, após os 28 dias de cura, são feitas marcações para realização do ensaio. Tomam-se 2,5cm das extremidades e marcam-se terços com 15cm entre si, totalizando 3 terços. O passo seguinte foi a realização do ensaio. Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais do Instituto Camillo Filho em Teresina-PI. 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RUPTURA DOS CORPOS-DE-PROVA Os corpos-de-prova foram submetidos cargas em t_f (tonelada-força) até a sua ruptura total. Os valores alcançados foram utilizados para determinar a resistência à tração na flexão média (f_{ctm}), com base também na norma NBR 12142/2010. Obteve-se os valores de f_{ctm} para todos os CPs e fez-se uma média da resistência, obtendo-se 5,49 MPa para concreto simples, 11,27 para concreto-aço e 6,42MPa para concreto-bambu. Assim, levanta-se que a combinação bambu-concreto corresponde a um acréscimo de 16,94% da resistência do concreto, enquanto a combinação aço-concreto atingiu um aumento de 105,28%. Ou seja, observa-se que o bambu de fato tem sua representatividade no aumento da resistência do concreto. No entanto, sua capacidade é menor que a do aço. 4.2 CORPOS-DE-PROVA PÓS-RUPTURA

Analisando os corpos-de-prova pós-ruptura, observou-se que aqueles produzidos apenas com concreto apresentaram uma ruptura brusca, diferente dos confeccionados com aço e bambu. Além do mais, nos CPs feitos com aço, formaram-se fissuras consideravelmente maiores e mais profundas do que as apresentadas nos CPs feitos com bambu. Essas fissuras foram tomadas com o auxílio de um fissurômetro, obtendo-se até 1mm para CPs com bambu e até 3mm em CPs com aço. Diante das diferenças observadas, foi calculado o módulo de elasticidade entre os CPs moldados com bambu e com aço, encontrando-se até 1,65 GPa para CPs com bambu e até 0,94 para CPs com aço. Logo, percebeu-se uma diferença no Módulo de Elasticidade de cada material, o que pode ter influenciado na divergência apresentada entre as fissuras de cada CP, mostrando que os que possuíam bambu apresentaram um módulo maior do que os que tinham aço. 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos, e com a ideia propositada no trabalho, é possível observar que o bambu não consegue suprir o aço como armadura do concreto na questão de resistir a esforços de flexão, e vários fatores podem justificar isso, como a aderência entre o aço e o concreto ser diferente para concreto armado. Além disso, a absorção de água da cura pelo bambu pode ter influenciado, que mesmo tentando impermeabilizá-lo, não teve efeitos favoráveis, além de que o uso de tinta asfáltica pode ter prejudicado a aderência entre o bambu e o concreto. Contudo, um ponto importante foi observado e merece ser destacado, a resistência da mistura do bambu e concreto em relação à elasticidade, que foi mais efetiva se comparada à mistura feita com aço, algo que é até inusitado, pois é comprovado que o módulo de elasticidade do aço é de 210 GPa, e o do bambu varia entre 2,0 a 90,0 GPa, dependendo da sua espécie.

PALAVRAS-CHAVE: Bambu, Flexão, Elementos Estruturais, Concreto, Análise de Esforços,

¹ Instituto Federal do Piauí, heitorfcivil@gmail.com

² Instituto Camillo Filho, antjairoengcivil@gmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande, danielcbrito@gmail.com

⁴ Instituto Federal do Piauí, francisca.mat@hotmail.com

⁵ Instituto Federal do Piauí, hudson@ifpi.edu.br

⁶ Universidade Federal do Piauí, st.milton@gmail.com