colloquium exactarum

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DA LAJE DE CONCRETO ARMADO COM ADIÇÃO DE PET E BAMBU

ANALYSIS OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE REINFORCED CONCRETE SLAB WITH ADDITION OF PET AND BAMBOO

Camila Rocha Silveira[1], Vinicius da Fonseca[1], Willyam Andrade Vieira[1], Amaro dos Santos[1], Filipe Bittencourt Figueiredo[2]

[1]**Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Curso de Engenharia Civil**
E-mail: camila_r_silveira@hotmail.com; viniciusfonsecaeng@gmail.com; willyamandrade@hotmail.com; amaro@unoeste.br

[2]**Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Departamento de Engenharia Civil**
E-mail: filipefigueiredo@ufgd.edu.br

RESUMO – O presente trabalho busca analisar o desempenho estrutural da laje maciça, tornando-a mais leve e economicamente mais acessível, substituindo o aço por bambu, e adicionando a garrafa PET como elemento de preenchimento. Subsidiado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), que fixa os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, desenvolveu-se três tipos de lajes maciças, com armadura total em aço, com armadura mista em aço e bambu, e com armadura total em bambu. As lajes foram moldadas e ensaiadas no laboratório de engenharia civil da UNOESTE e apresentaram dimensões de 73 cm x 73 cm x 15 cm e 73 cm x 73 cm x 20 cm, sendo submetidas a carregamento central através de perfis metálicos. Os resultados mostraram que ambas as lajes tiveram resistências satisfatórias de acordo com a norma vigente, entretanto a ancoragem insatisfatória do bambu no concreto não permitiu a atuação completa da armadura no elemento estrutural.
Palavras-chave: PET. Bambu. Laje. Ancoragem. Concreto.

ABSTRACT – The present work seeks to analyze the structural performance of the massive slab, making it lighter and economically more accessible, replacing the steel for bamboo, and adding the PET bottle as a filling element. Subsidized by NBR 6118 (ABNT, 2014), that establishes the basic requisites required for the design of simple, reinforced and prestressed concrete structures, three types of solid slabs were developed, with full steel reinforcement, with mixed steel and bamboo reinforcement, and with full armor in bamboo. The slabs were molded and tested in the civil engineering laboratory of UNOESTE with dimensions of 73 cm x 73 cm x 15 cm and 73 cm x 73 cm x 20 cm, being submitted to central loading through metallic profiles. The results showed that both slabs had satisfactory resistances according to the current norm, however the unsatisfactory anchorage of the bamboo in

Recebido em: 22/01/2018
Revisado em: 23/10/2018
Aprovado em: 27/11/2018

the concrete didn’t allow the full performance of the reinforcement in the structural element.
Keywords: PET. Bamboo. Slab. Anchoring. Concrete.

1. INTRODUÇÃO

A busca por novos métodos que visam melhorias da qualidade das propriedades físicas e mecânicas de elementos da construção civil vem sendo amplamente estudadas e desenvolvidas atualmente. Para tal, a utilização de materiais sustentáveis e a reutilização de produtos que seriam descartados no meio tem sido uma escolha favorável para suprir problemas ecológicos tão discutidos nos últimos tempos (MARÇAL, 2008).

Fatores como o rápido avanço da tecnologia na construção civil contribuem para o aumento da utilização de produtos industrializados, diminuindo o uso de materiais alternativos, naturais e de baixo custo, como o bambu, mesmo este sendo muito abundante em variadas espécies em quase todo o território brasileiro (TOMBOLATO; GRECO; PINTO, 2012). Sabe-se ainda que o bambu pode ser empregado de diferentes maneiras nas obras de engenharia, devido a sua flexibilidade e resistência, principalmente em conjunto com outros materiais, como o concreto (MARÇAL, 2008). Portanto, é possível aderi-lo a elementos estruturais como vigas, pilares e lajes, como complemento e/ou substituição, do aço por exemplo, diminuindo o custo total do elemento estrutural ao qual foi agregado, porém mantendo sua resistência adequada segundo as normas.

A garrafa PET (politereftalato de etileno) por sua vez, é um dos produtos mais presentes no lixo das cidades brasileiras, cerca de 34% do peso do lixo plástico (exceto os filmes) é composto de PET, ocupando, aproximadamente 42% do volume deste tipo de lixo, sendo que este muitas vezes é descartado em lugares inapropriados. (MANCINI, 1996, *apud* MANCINI; BEZERRA; ZANIN, 1998).

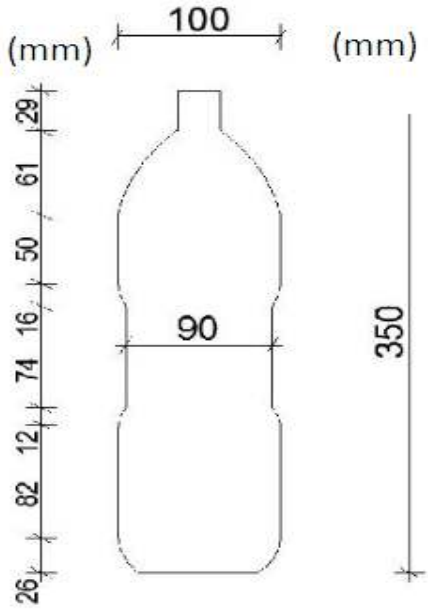
Desta forma, visando uma construção sustentável e que reutilize material reciclável, estuda-se a utilização da garrafa PET e do bambu na laje de concreto armado, tendo o primeiro material a função de preenchimento de espaço em locais inertes da laje, diminuindo a quantidade de concreto, e o segundo, a função de travamento das garrafas e a substituição da armadura de aço.

O objetivo desse trabalho é avaliar experimentalmente o comportamento de 3 (três) lajes maciças, sendo uma delas caracterizada como protótipo (armadura total em aço) e as demais com adição de garrafas PET, descartadas na região de Presidente Prudente - SP, e bambu da espécie *Bambusa Vulgaris* como um elemento estrutural, em substituição parcial e total do aço.

2. DESENVOLVIMENTO

Um dos materiais recicláveis utilizado em novas linhas de pesquisa é a garrafa PET, entretanto, o seu uso, normalmente, restringe-se ao material triturado e adicionado ao concreto, desta forma pouco se estuda a adição da garrafa inteira, devido a sua baixa resistência, porém pode ser uma boa escolha quando a intenção é gerar volume em regiões inertes a esforços. Uma garrafa PET ocupa em média 2180 cm³, com as dimensões ilustradas conforme a Figura 1.

Figura 1. Dimensões da garrafa PET



Fonte: (Correa, 2015)

Baseado em tais dimensões, a altura total da laje, segundo consta na norma NBR 14860/2002, item 4.1.2, deverá ser de no mínimo 14 cm, quando a altura do elemento de enchimento for de 10 cm.

Para Coelho (2005) *apud* Rodrigues, Silva e Souza (2014), "a aplicação da garrafa PET como material de enchimento possibilita uma economia transcendente a 40% sobre o custo de lajes fabricadas com materiais convencionais, como blocos cerâmicos".

O bambu tem o potencial de tornar-se futuramente um substituto ideal em locais onde o aço não pode ser produzido, também é um material com uma alta resistência à tração, devido a alguns fatores, relacionados à sua composição, de lignina-celulose, que garantem rigidez à planta, assim como a disposição estrutural das fibras, que formam feixes, essenciais para resistir a este tipo de tensão. (LIESE, 1980; LIESE, 1998 apud OLIVEIRA, 2013).

Ghavami (1995) apud Oliveira e Vito (2012) sugere as espécies *Bambusa vulgaris* (6 a 15 cm de diâmetro) e *Dendrocalamus giganteus* (10 a 30 cm de diâmetro) como as melhores para substituir o aço em elementos estruturais, tendo a primeira uma resistência média a tração de 170 MPa e a segunda 135 Mpa. Para Ghavami e Hombeeck (1981) apud Oliveira (2013), a espécie, as características do solo e do clima onde foi cultivado, o tempo de cultivo, e o teor de umidade em seu interior, são as principais influências na resistência do bambu. Para as espécies citadas, o principal fator de distinção entre elas é o diâmetro e a coloração do colmo, podendo ser encontradas facilmente na região de Presidente Prudente.

Segundo Beraldo *apud* Souza *et al.* (2009), para que o bambu não absorva a água do concreto, quando for utilizado seco, é necessário deixá-lo três dias antes da concretagem submerso em água. Ghavami (1995) e Lopes *et al.* (2002) citado por Mesquita *et al.* (2005) explicam que quando o bambu absorve a água do concreto e seca, variando então o seu volume, há interferência de forma negativa na aderência entre os dois materiais.

2.1. Metodologia

Foram ensaiadas 3 (três) lajes maciças duplamente armada, com aço na armadura positiva e negativa (conforme a figura 2), com aço na armadura positiva e bambu na armadura negativa (conforme a figura 3) e com bambu na armadura positiva e negativa (conforme a figura 4), sendo que os dois últimos modelos tiveram o acréscimo de garrafas PET inteiriças como elemento de preenchimento entre as armações positivas e negativas, como indicado nas figuras a seguir.

.

Figura 2. Armação da laje maciça convencional, com aço na armadura positiva e negativa

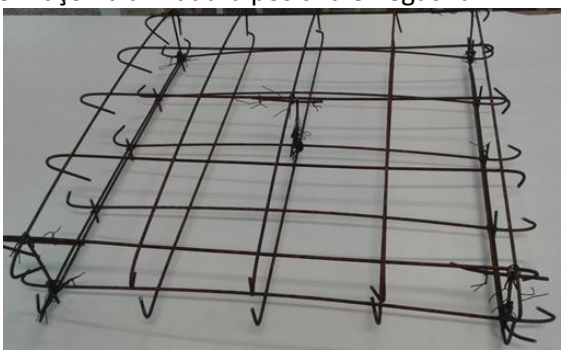
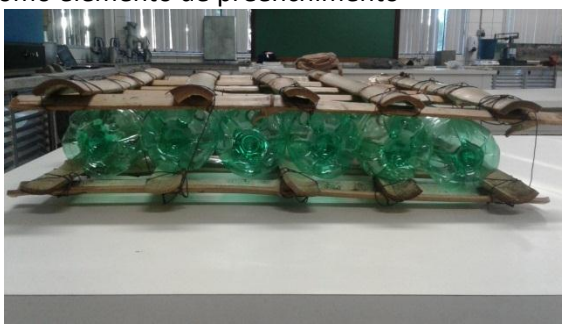


Figura 3. Armação da laje maciça mista, com aço na armadura positiva e bambu na armadura negativa, e garrafas PET como elemento de preenchimento



Figura 4. Armação da laje maciça com bambu na armadura positiva e negativa, e garrafas PET como elemento de preenchimento



A laje maciça convencional (armadura total em aço) tem dimensões de 73 cm x 73 cm x 15 cm, com uma malha de aço pré-dimensionada com 4,2 mm de bitola e dimensões de 75 cm x 75 cm, sendo a ancoragem feita com uma dobra de 3 cm a 135º nas pontas. As lajes com armadura mista e armadura total em bambu, tem dimensões de 73 cm x 73 cm x 20 cm, a diferença aplicou-se após constatada a espessura superior da malha de bambu em relação a malha de aço, para que fossem respeitadas as capas externas de concreto, especificado na NBR 6118 (ABNT, 2014). Os bambus foram cortados em 1/4 da seção transversal com comprimento de 69 cm, estes foram amarrados com arame recozido em forma de malha, respeitando o mesmo número de barras de aço utilizado na laje convencional. Após amarradas, as malhas de bambu foram deixadas em um tanque submersas em água por 3 três dias, para que não ocorresse a absorção da água de amassamento do concreto.

As junções das malhas positiva e negativa foram feitas com arame recozido, deixando um afastamento entre as malhas de 10 cm, e um afastamento de 2 cm para as capas externas de concreto, como estabelecido em norma. Como afastamento utilizou-se aço de mesma bitola cortado nas dimensões especificadas. As garrafas foram fixadas com fita adesiva em conjuntos de 6 unidades, e o furo vedado.

O traço do concreto utilizado, segundo Bauer (1994), foi de 1:2:3 (cimento, brita e areia), e um fator água/cimento de 0,7. As lajes foram concretadas em caixarias de madeira, sendo que esta aconteceu em duas etapas, para cada uma moldou-se 3 corpos de prova e realizou-se *Slump test*, para avaliar a consistência do concreto.

Figura 5. Armadura da laje convencional na caixaria de madeira



Figura 6. Slump test (teste de consistência)



Como método de ensaio para obtenção dos resultados, foi utilizada a mesa de reação do laboratório de construção civil da UNOESTE, onde é composta por um viga alavanca que têm por função transferir as cargas de uma extremidade para a outra, na qual a mesma foi apoiada sobre placas, e esse conjunto apoiado sobre a parte central da laje, que também foi apoiada, entretanto, apenas em dois dos lados, conforme a figura 7.

Figura 7. Método de ensaio das lajes



A viga de transferência de cargas tem 2,83 metros de comprimento e massa de 56,6 kg, esta é submetida a pesos em sua extremidade direita, onde os pesos geram esforços na extremidade esquerda, provocando uma força de momento fletor na viga, agindo assim como uma alavanca, pois a viga de perfil I, que está sobre a viga de transferência, impede o movimento da mesma, deixando ela estável e provocando uma reação contrária que força a laje, até o seu rompimento. A transferência de carga entre o perfil metálico e a laje se da através de placas, que contém um pino com função de majorar a tensão, em decorrência da diminuição da área de contato, conforme a figura 8.

Figura 8. Placas de transferência de cargas entre o perfil metálico e a laje



3. RESULTADOS

Os 6 corpos de prova foram rompidos com idade de 21 dias, sendo 3 corpos de prova referentes a primeira etapa de concretagem e os 3 restantes referentes a segunda etapa, cujo os resultados obtidos estão representados conforme a tabela 1.

Tabela 1. Resistências à compressão dos corpos de prova

Corpo de prova	Fck da 1ª concretagem (MPa)	Fck da 2ª concretagem (MPa)
1	19,23	22,33
2	22,08	20,01
3	21,62	21,12
Média	20,98	21,15

Os resultados do teste de consistência (*Slump test)* foram de 16,3 cm e 17,1 cm, para a primeira e para a segunda etapa de concretagem, respectivamente.

Os volumes de concreto das lajes, assim como os volumes ocupados pelos elementos adicionados, garrafa PET e bambu, são apresentados conforme a tabela 2.

Tabela 2. Volumes de concreto e volume dos elementos adicionais

	Volume (m^3)
Laje com armadura total em aço	0,07994
Laje com armadura mista	0,07367
Laje com armadura total em bambu	0,06676
Conjunto de 12 garrafas PET	0,02600
Malha de bambu com 10 barras de 69 cm	0,00691

Figura 9. Representação das distâncias entre eixos da viga de alavanca e seus respectivos apoios



As massas dos elementos utilizados nos ensaios estão dispostas conforme a tabela 3.

Tabela 3. Massas dos elementos utilizados nos ensaios

Elementos	Massa (kg)
Viga alavanca	56,60
Suporte dos pesos	16,00
Peso 1	15,00
Peso 2	8,00
Viga perfil I	8,75
Placa de aço	27,88
Placa de aço menor	1,51
Placa com pino	1,59

Quantidade de peso na extremidade da viga alavanca. Laje 1 (Laje maciça convencional).

Suporte dos pesos = 16 x 1 = 16 kg

Pesos 1 = 15 x 34 = 510 kg

Peso 2 = 8 x 2 = 16 kg

Total = 16 + 510 + 16 = 542 kg

Força = massa x gravidade

Força = 542 x 9,8 = 5311,6 N ou 5,31 kN

Peso próprio da viga alavanca:

Massa = 56,6 kg

Força = 56,6 x 9,8 = 554,68 N ou 0,55 kN

Resultou-se em um diagrama de corpo livre, conforme a figura 10, representado através do software ftool.

Figura 10. Diagrama de corpo livre da viga alavanca na laje convencional

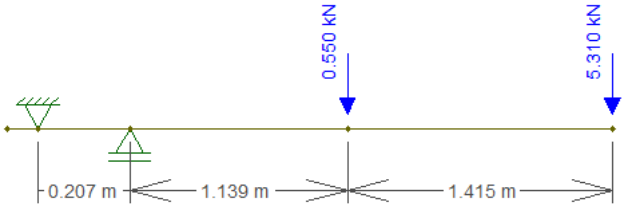
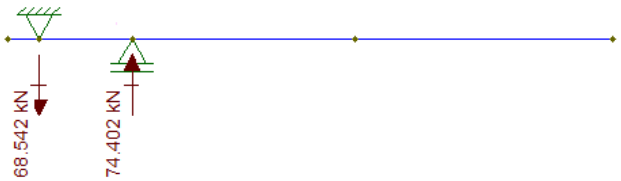


Figura 11. Reações de apoio da viga alavanca na laje convencional



Conforme a figura 11, a reação de apoio referente a laje 1 é de 74,40 kN, este deve ser somado aos valores das cargas das placas entre a viga alavanca e a laje:

Carga das placas = {8,75 + 27,88 + [6 x (1,51)] + 1,59} x 9,8

Carga das placas = 463,34 N ou 0,46 kN

Carga total laje 1 = 74,40 + 0,46

Carga total laje 1 = 74,86 kN

Para o cálculo da tensão, é necessário relacionar a carga suportada com a área de contato da placa de transferência com a laje.

Área de contato = 30 cm²

$$\text{Tensão suportada pela laje 1} = \frac{\text{força}}{\text{área}}$$

$$\text{Tensão suportada pela laje 1} = \frac{74,86}{30}$$

Tensão suportada pela laje 1 = 2,50 kN/cm²

Para as lajes mista com armadura de aço e bambu e armadura total em bambu, repetiu-se os mesmos procedimentos de cálculos.

A quantidade de carga suportada na extremidade da viga alavanca pela laje 2 (laje mista) foi idêntica a laje 1 (laje convencional), obtendo-se assim o mesmo diagrama de corpo livre e as mesmas reações de apoio. Entretanto, as placas de contato entre a viga alavanca e laje diminuíram de 6 para 3.

Carga das placas = {8,75 + 27,88 + [3 x (1,51)] + 1,59} x 9,8

Carga das placas = 418,95 N ou 0,41 kN

Carga total laje 2 = 74,40 + 0,41

Carga total laje 2 = 74,81kN

$$\text{Tensão suportada pela laje 2} = \frac{\text{força}}{\text{área}}$$

$$\text{Tensão suportada pela laje 2} = \frac{74,81}{30}$$

Tensão suportada pela laje 2 = 2,49 kN/cm²

Quantidade de peso na extremidade da viga alavanca. Laje 3 (Laje maciça com armadura total em bambu).

Suporte dos pesos = 16 x 1 = 16 kg

Pesos 1 = 15 x 34 = 510 kg

Total = 16 + 510 = 526 kg

Força = massa x gravidade

Força = 526 x 9,8 = 5154,8 N ou 5,15 KN

Peso da viga alavanca = 554,68 N ou 0,55 KN.

Resultou-se em um diagrama de corpo livre, conforme a figura 12.

Figura 12. Diagrama de corpo livre da viga alavanca na laje com armadura total em bambu

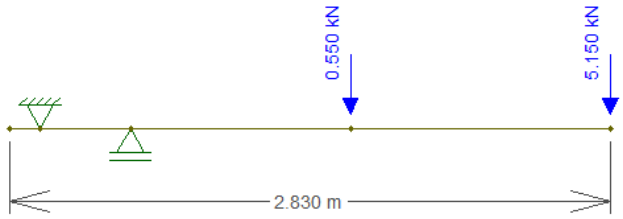
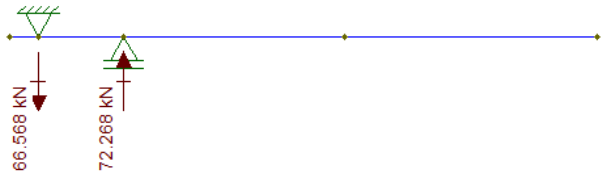


Figura 13. Reações de apoio da viga alavanca na laje com armadura total em bambu



A reação de apoio referente a laje 3 (laje total em bambu) é de 72,27 KN, este deve ser somado ao valor da carga das placas entre a viga alavanca e a laje.

Carga das placas = {8,75 + 27,88 + [3 x (1,51)] + 1,59} x 9,8

Carga das placas = 418,95 N ou 0,41 kN

Carga total laje 3 = 72,27 + 0,41

Carga total laje 3 = 72,68 kN

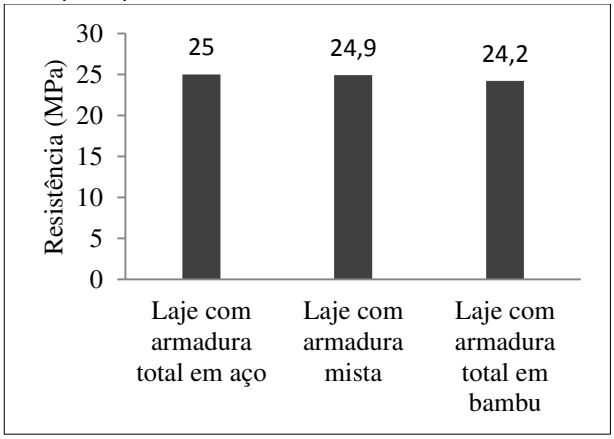
$$\text{Tensão suportada pela laje 3} = \frac{\text{força}}{\text{área}}$$

$$\text{Tensão suportada pela laje 3} = \frac{72{,}68}{30}$$

Tensão suportada pela laje 3 = 2,42 kN/cm².

Os resultados das resistências de cada laje estão representados conforme o gráfico a seguir.

Gráfico. Resistências das lajes rompidas aos 21 dias (MPa)



4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As resistências obtidas a partir do ensaio de compressão nos corpos de prova, referentes a cada etapa de concretagem, não indicam discrepância de valores, tendo em vista que obteve-se uma resistência média igual a 20,98 MPa e 21,15 MPa, para a primeira e para a segunda concretagem, respectivamente, mantendo-se acima do valor estipulado em norma de 20 MPa para concreto estrutural.

O consumo de concreto alterou-se para cada tipo de laje, mesmo com as devidas considerações, como a diferença de 5 cm na espessura entre a laje convencional e as demais lajes. Fazendo-se a comparação do consumo de concreto utilizado entre uma laje maciça convencional com dimensões de 73 cm x 73 cm x 20 cm (volume = 0,10658 m³) e uma laje com armação total em bambu de mesmas dimensões (volume = 0,06676 m³), como a utilizada nos ensaios, observa-se uma redução de concreto de 37,36 % (0,03982 m³). A diminuição substancial de concreto deve-se ao volume ocupado pelas malhas de bambu, 68 vezes superior ao volume ocupado pelas malhas de aço, e principalmente pelo volume ocupado pelas garrafas PET, responsável por 65,70% do volume reduzido. Portanto, a redução de concreto devido à aplicação das garrafas PET e bambu geram expressiva diminuição de materiais, consequentemente de custo para a produção de uma laje com as características citadas, se comparada com uma convencional, além de uma redução no peso próprio da peça que aplicado a uma situação real aliviaria as cargas nas fundações.

O teste de abatimento de tronco de cone (*Slump test*) revelou valores próximos entre as concretagens, 16,3 cm e 17,1 cm, indicando uma boa consistência para a finalidade aplicada. Os resultados estão diretamente relacionados com o fator água/cimento utilizado.

As resistências das três lajes estudadas no projeto, assemelham-se,

sobretudo nas lajes mista e convencional que apresentaram diferença de 0,1 MPa entre os valores. A resistência da laje com armadura total em bambu por sua vez, variou 0,8 MPa comparada à da laje convencional, indicando a eficiência desta, quanto a este critério, para a finalidade da aplicação.

5. CONCLUSÕES

O estudo revelou que as lajes com adição de garrafas PET como função de preenchimento e o bambu como componente estrutural em substituição do aço, permitiu alcançar uma resistência aproximada à de um protótipo de laje maciça dimensionada nos mesmos padrões. Porém, fatores como a deficiente ancoragem e aderência do bambu impediram a sua total atuação dentro da laje. Em contrapartida, as garrafas PET atenderam perfeitamente a sua função de preenchimento de volume, para geração de economia de materiais e custos.

Devido à elevada resistência do bambu a tração da flexão, possível por meio de sua composição fibrosa, verificou-se que não houve rompimento deste, porém, o mesmo não aderiu ao concreto de maneira satisfatória levando, no momento do rompimento, ao colapso da estrutura por desprendimento de concreto da laje, gerado pelo escorregamento da malha de bambu.

Sugere-se para futuros trabalhos um tratamento que auxilie o bambu a manter suas características adequadas para uso como substituto do aço em estruturas de concreto armado, mantendo a aderência ao concreto e permitindo a viabilidade de maiores informações.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Laje pré-fabricada - requisitos parte 1: lajes unidirecionais:** NBR 14860-1. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**: NBR 6118. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994. v.1

CORREA, P. M. **Estudo comparativo da influência da adição de PET e PP pós-consumo na produção de concreto estrutural**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2015.

MANCINI, S.; BEZERRA, M.; ZANIN, M. Reciclagem de PET Advindo de Garrafas de Refrigerante Pós-Consumo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia,** São Carlos, v. 8, n. 2, abr./jun., 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14281998000200010. Acesso em: 6 abr. 2017. https://doi.org/10.1590/S0104-14281998000200010

MARÇAL, V. H. S. **Uso do Bambu na construção civil**. 2008. Monografia (Especialização) - Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MESQUITA, L. P. et al. Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.2, p.505-516, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a36.pdf. Acesso em: 6 abr. 2017. https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200036

OLIVEIRA, C.; VITO, M. **Substituição total do aço, usando bambu como armadura de combate a flexão em vigas de concreto**. 2012 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) -Universidade do Extremo Sul Catarinense,2012. Disponivel em: http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1535/1/Claiton%20Sommariva%20de%20Oliveira.pdf. Acesso em: 6 abr. 2017.

OLIVEIRA, L. F. A. **Conhecendo Bambus e suas potencialidades para uso na construção civil**. 2013. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG., 2013.

RODRIGUES, C.; SILVA, J.; SOUZA, R. Laje Alveolar com enchimento de garrafa PET não protendida.

Revista Pensar Engenharia, Belo Horizonte, v.2, n. 2, 2014.
Disponível em: http://revistapensar.com.br/engenharia/pasta_upload/artigos/a139.pdf. Acesso em: 20 abr. 2017.

SOUZA, L.; VESPA, T.; ARAUJO, M. Lajes com armadura de bambu: um estudo comparativo com as lajes convencionais de aço. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA. 5., 2009, Maringá. **Anais** [...]. Maringá: Cesumar, 2009.
Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2009/wp-content/uploads/sites/77/2016/07/lucimeire_brenzan_zampar_souza.pdf. Acesso em: 20 mar. 2017.

TOMBOLATO, A. F. C.; GRECO, T. M.; PINTO, M. M. Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. Campinas, v. 18, n. 2, 2012. Disponível em: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:G82tSlviWIAJ:https://ornamentalhorticulture.emnuvens.com.br/rbho/article/download/687/497+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br
Acesso em: 20 mar. 2017. https://doi.org/10.14295/rbho.v18i2.687