

ANÁLISE DO BAMBU COMO ALTERNATIVA DE USO EM VIGAS, COM ESTUDO DE CASO NA FLEXO-COMPRESSÃO.

*Primeiro Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço **

*CEP – Cidade – Estado**

*Segundo Autor – e-mail**

*Instituição de Ensino, Faculdade ou Departamento**

*Endereço**

*CEP – Cidade – Estado**

Resumo: *Com a Revolução Industrial, houve uma transformação mundial que modificou a relação entre o homem e a natureza. Os danos gerados pelas atividades industriais e humanas, trouxeram consequências ao planeta Terra, e assim a degradação do meio ambiente se tornou crescente e acelerada. Atualmente as siderúrgicas e indústrias de cimentos contemporâneas, trazem a emissão desenfreada de gases do efeito estufa (GEEs), como o dióxido de carbono (CO₂). Analisando a problemática registrada, o emprego do bambu nos diversos campos da Engenharia, pode cooperar sendo uma alternativa viável, pois é um material renovável, com baixo custo de produção, fonte limpa de construção e contribui com o desenvolvimento sustentável do planeta. Para tanto, a resistência à compressão simples foi avaliada em corpos de prova (CPs), para observação dos modos de rupturas e tensões. Verificou-se os requisitos para avaliar o desempenho construtivo, e assim delimitar a segurança estrutural portante de corpos de prova. Desta forma, este estudo visa expor os pontos negativos e positivos da edificação contemporânea utilizando o bambu, como meio de potencializar e corrigir seu comportamento mecânico, através da criação de metodologias de referência, que possibilitem o bambu tornar-se um material com potencial para a substituição de pilares convencionais, como fonte limpa e renovável de construção.*

Palavras-chave: *Bambu; Aço; Concreto; Resistência Mecânica; Fonte limpa e renovável.*

1 INTRODUÇÃO

As indústrias e siderurgias modernas, ainda estão ligadas à poluição ambiental, principalmente nos processos produtivos do cimento e aço. Em 2018, o consumo aparente nacional do aço, atingiu 20,6 milhões de toneladas, com crescimento de 7,3% durante o mesmo período de 2017, segundo Selmi (2019). Já o cimento avaliado de março 2017 a fevereiro 2018, as vendas acumuladas atingiram 53,7 milhões de toneladas, conforme (SNIC, 2018). Analisando esses números, percebe-se que esses são os dois materiais mais empregados na construção civil brasileira, e por isso a preocupação ambiental perante a sociedade civil, devido aos enormes contingentes de poluição gerados por esses materiais.

Portanto, torna-se imprescindível que a construção civil busque utilizar matérias-primas, que degradem menos o meio ambiente, e neste sentido o bambu pode ser uma possível alternativa, principalmente na manutenção do planeta.

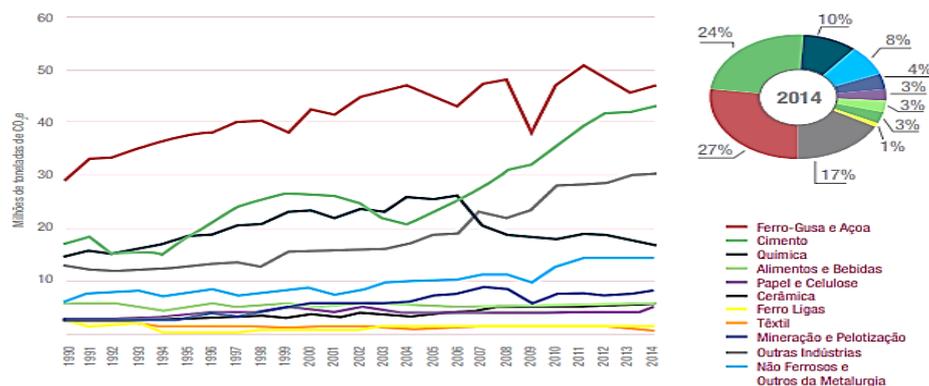
Bambu é o nome popular dado às plantas da subfamília Bambusoideae, pertencentes à família das gramíneas. O bambu apresenta facilidade de adaptação em climas tropicais, segundo Beraldo e Pereira (2016). Essa planta é um recurso renovável, dado que após o corte, sua reprodução é anual e seu desenvolvimento é contínuo e rápido. Os benefícios do bambu iniciam-se em sua plantação, uma vez que esta planta dispõe da alta formação de biomassa com o aprisionamento do carbono, este fato lhe gera o título de sequestrador de dióxido de carbono (CO₂), e simultaneamente ocorre a geração de oxigênio (O₂), que é a fonte primária de vida.

A aplicação do bambu como material estrutural, torna-se um desafio para a Engenharia, por falta de dados na literatura, Normas e pesquisas científicas brasileiras. Porém, sua aplicação dá-se nas múltiplas áreas da Engenharia civil, mecânica, agrônoma, ambiental e elétrica, desse modo colaborando com o desenvolvimento socioeconômico justo e equilibrado no Brasil. A propagação desse material, pode contribuir com a redução dos custos na construção civil, atuando com responsabilidade socioambiental e suprimindo as características mecânicas do aço, que são necessárias para estruturas complexas. Assim sendo, a viabilidade do emprego do bambu como reforço no concreto, é ponderada por meio de um acervo de averiguações experimentais no presente estudo.

O bambu por ser uma matéria-prima renovável, possui grande desempenho no desenvolvimento sustentável, e considerando a crescente demanda por utilização de recursos naturais renováveis na construção civil, surgem as buscas por novos sistemas ecológicos. Adams (1997), afirma que a variedade de usos do bambu, a facilidade de integração entre plantio, corte, transporte, manuseio e resistência deste material, o têm levado a diversos segmentos sociais e econômicos, sendo possível considerá-lo a madeira do século XXI.

Ao analisar o cenário atual da construção civil brasileira, o aço é o material mais aplicado em obras. Sendo este, um dos grandes vilões do século atual, em quesito de poluição atmosférica, pois ao observar os setores industriais responsáveis pelos fragmentos mais significativos, nas emissões dos GEEs, tem-se que as indústrias de ferro-gusa e aço, são as líderes na emissão desenfreada do dióxido de carbono, como expressa a Figura 1.

Figura 1 - Emissão de CO₂ por indústria.



Fonte: (FERREIRA, 2016).

As emissões de GEEs nas siderurgias, sucedem-se do processo produtivo de todos os tipos de aço e ferro, desde a redução química do minério de ferro, onde na maioria das vezes seu processamento primário ocorre em alto forno.

O aço é amplamente utilizado na engenharia civil e mecânica. Na construção civil, por exemplo, sua aplicação dá-se em pilares mistos aço-concreto. A edificação dos pilares, é uma das etapas fundamentais em um projeto estrutural, pois a má disposição dos pilares ou o mau

dimensionamento destes fundamentos, podem acarretar distintos problemas, como por exemplo, aumento no custo da estrutura.

Analisando a problemática ambiental originada pelos materiais mais empregados na construção civil, o desenvolvimento de novos processos e tecnologias construtivas, que visem a racionalização na construção civil brasileira, empregando elementos naturais, sobretudo em sistemas estruturais, mas que proporcionem a mesma eficácia e minimizem os danos ambientais.

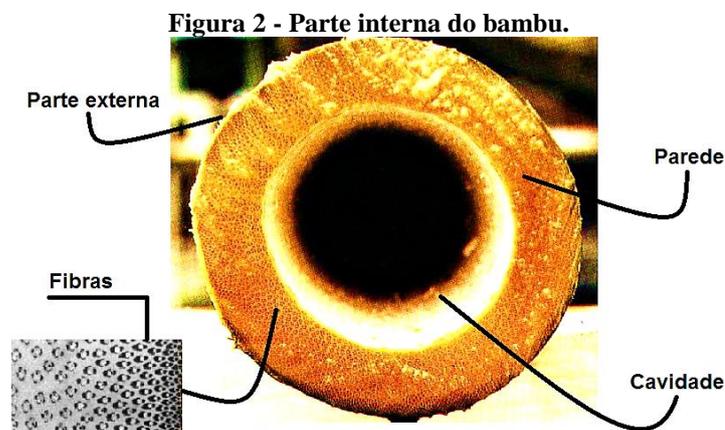
Uma possível saída para o conjunto de problemas citados nos processos de produção do aço, seria a minimização de seu uso nas pequenas construções brasileiras, substituindo-o por alternativas viáveis, como por exemplo, os materiais naturais que não agridem o meio ambiente e minimizem os impactos já ocasionados. Nesse quesito ressurgem o bambu, que vêm crescendo fortemente e contribui com a redução dos GEEs. Segundo Riscala (2010), o bambu gera mais O₂ que o equivalente a 3 árvores. Algumas espécies de bambu chegam a absorver mais de 12 toneladas/hectare de CO₂ da atmosfera, e é a planta que possui a maior taxa de crescimento da Terra. Assim sendo, é possível considerar que a contribuição do bambu, para com as gerações futuras atinge enormes contingentes, e por isso merece a oportunidade de aplicação na construção civil.

Para os autores já citados, a sustentabilidade é o fio condutor para uma melhoria no meio ambiente, sendo que essa pode ser proporcionada ao aplicar o bambu em obras. Entretanto, para Beraldo e Pereira (2016), a maior dificuldade da disseminação do bambu, trata-se do não conhecimento de suas propriedades. Sendo esse empecilho um grande desafio, pois ainda não existe uma Norma Brasileira (NBR) na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), para o uso e a aplicação do bambu.

Com base nas abordagens conceituais, o campo da engenharia civil preocupa-se em construir e entregar a obra no prazo, não observando os aniquilamentos demasiados, provenientes da aplicação do aço. Mesmo considerando as eventuais divergências de conceitos, atualmente não se pode mais desconsiderar as novas metodologias construtivas, principalmente as que colaboram com a mitigação dos danos ambientais.

Observando a Figura 13, é possível compreender que o bambu possui à resistência/massa por volume, superior à madeira e ao concreto, porém ainda é minimamente inferior ao aço.

Considerando que a resistência é o efeito das forças no comportamento interno dos sólidos, analisa-se que o bambu é inferior ao aço, pois sua parte interna é oca e sua capacidade de resistir aos esforços, concentram-se apenas na parede da planta visto que essa é parte mais maciça, a Figura 2 demonstra como são as cavidades internas do bambu, para melhor compreensão da planta.



Adaptado

Fonte: (GHAVAMI, 2000).

Observando a seção transversal do colmo, verifica-se que as fibras se concentram mais na superfície externa. Os bambus apresentam excelentes propriedades mecânicas, que são influenciadas pela idade, massa específica e teor de umidade do colmo, mas dependem principalmente, do teor de fibras responsável pela sua resistência, (BERALDO E PEREIRA, 2016).

Um colmo de bambu possui 50% de parênquima, 40% de fibra e 10% de tecidos condutores, e seus principais constituintes são celulose, hemicelulose e lignina, semelhante à madeira, (LIESE, 1998).

A parte externa do colmo é composta por camadas de células, cobertas por uma camada cutinizada e com cera. Segundo Liese (1998), a cavidade é uma camada mais espessa e altamente lignificada, constituída de numerosas células esclerenquimáticas (fibras), dificultando qualquer movimento lateral de líquidos. Ainda de acordo com o autor, dentro da parede o número total de feixes diminui da base para o topo, porém sua densidade aumenta.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a aplicação estrutural, usualmente utiliza-se os gêneros *Dendrocalamus* (batizado de bambu gigante), *Guadua* (popular no Brasil como Taquaruçu) e *Phyllostachys pubescens* (conhecido como Mosô), a exemplo dos países que já atuam com esses gêneros. Os gêneros da Figura 3, apresentam melhores características mecânicas e físicas, de acordo com Beraldo e Pereira (2016).

Figura 3 - Os três gêneros de bambu utilizados em obras no mundo.



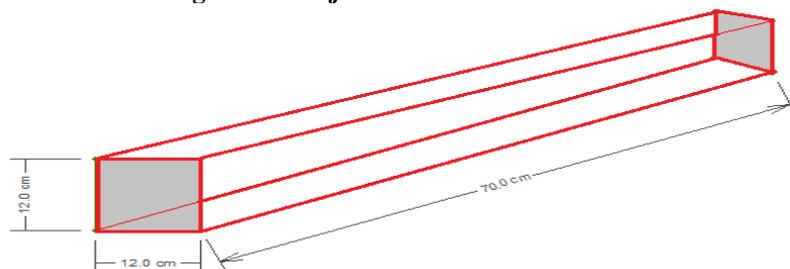
Fonte: (BARBALHO, 2018).

Neste estudo serão abordados estudos e ensaios no gênero *Phyllostachys pubescens* e *Phyllostachys aurea*. A preferência por essas espécies, é dada pela facilidade de localização na Baixada Santista, além do que estes gêneros se habituam aos mais distintos climas e altitudes do Brasil. O *Phyllostachys pubescens* e o *Phyllostachys aurea*, são espécies nativas da China, e surgiram no Brasil através da colonização portuguesa, essas plantas adaptaram-se muito bem ao clima brasileiro, comportando-se como nativas. Segundo Beraldo e Pereira (2016), as alturas de seus colmos do *Phyllostachys pubescens* podem chegar a 20 m e os diâmetros dos colmos variam de 7 a 15 cm.

3 CONSTRUÇÃO DAS VIGAS

Construção de três vigas de concreto com: bambu e aço. O primeiro passo foi a elaboração do projeto das três formas, com base na NBR 6118 de 2014, que determina a armadura mínima para peças estruturais com \varnothing 6,3 mm, assim sendo, definiu-se o comprimento, altura e largura respectivamente em 0,70 x 0,12 x 0,12 m, respeitando as dimensões mínimas estabelecidas na NBR 6118, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Projeto da forma de concreto.



Fonte: (Autores, 2019).

Após determinar as dimensões das formas, as mesmas foram confeccionadas com tábua de pinho de 1" x 6", ou seja, 1 polegada de espessura por 6 polegadas de largura. Para fixar cada forma, utilizou-se 16 pregos com cabeça de aço galvanizado, com as dimensões (14 x 15), ou seja, 1 ¼", totalizando usou-se 48 pregos.

Para confeccionar as armações das vigotas, usou-se como base a NBR 8800 de 2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas de mistas de aço e concreto de edifícios.

Foram confeccionadas três vigas e cada uma possuirá uma armação específica, que possui a dimensão de 65 cm.

3.1 Metodologia na armação de aço

Para armação da viga de concreto armado, confeccionou-se uma única peça e, nesta utilizou-se cerca de três metros de aço CA50, com a bitola de 6,3 mm de massa nominal 0,25 kg/m e sendo sua seção nominal de 31,2 mm². Com as dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m.

Logo após confeccionou-se para essa armação de aço, três estribos com bitola de 6,3 mm com a medida de 0,07 x 0,07 m, nesse material realizou-se o dobramento do vergalhão.

A NBR 6118 prevê que os vergalhões sejam unidos através de luvas rosqueadas, por solda, por caldeamento e outras uniões mecânicas. Nas junções mecânicas são empregados elementos, que estabelecem a união das barras nervuradas à serem emendadas.

Para esse procedimento utilizou-se 8 eletrodos revestidos SWAW - Eletrodo vareta para bitola $\geq 6,3\text{mm}$ – Limite de Resistência (min) $\geq 540\text{ MPa}$ ou 54 Kgf/mm². Aplicou-se em todas as emendas – ER80 e 110S, seguindo as recomendações que visam executá-las com qualidade e eficiência, proporcionando a economia do material devido ao aproveitamento.

A corrente da máquina de solda, foi regulada de acordo com o diâmetro do eletrodo utilizado de 2 mm, sendo o tipo de passe único, com corrente de 80 Ampere e tensão de 220 Volts. Para cada emenda o tempo médio foi de 40 segundos.

3.2 Metodologia na armação de bambu em ripas

As ripas de bambu em armação, foram criadas no intuito de aproximar-se ao máximo de uma armação de aço, então na armação de bambu em ripas, utilizou-se cerca de 1 metro (m) de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* (Mosô). Essa armação também possui as dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m. O método adotado na construção dessas armações, foi totalmente baseado na armação de aço, de modo que as mesmas apresentassem as características mais próximas possíveis, afim de evitar o favorecimento de qualquer um dos materiais.

Ao tentar confeccionar bitolas de 6,3 mm do bambu, percebeu-se que o resultado não foi muito adequado, visto fragilidade das peças, onde o bambu ficava muito fino, e isso poderia comprometer sua resistência mecânica, então adotou-se a bitola de 8,3 mm para a armação de bambu, desse modo com uma robustez maior.

Essas peças de bambu foram cortadas com facão em formato retilíneo, respeitando os nós de cada colmo. Após o processo de corte, aplicou-se Cascarez que é uma cola madeira, formando um adesivo à base de PVA, desenvolvido para reparos e consertos de móveis em madeira MDF. Esse procedimento foi necessário para manter unidos os estribos de bambu.

Para manter as ripas uniformes nos estribos, passou-se cerca de 1,5 m de arame cobre fino, muito aplicado em circuito eletrônico, esse arame possui espessura de 0,10 mm, pois desse modo as peças não tenderiam a soltar-se.

3.3 Metodologia na armação de bambu em vara

A armação de bambu inteiro, foi pensada e utilizada no intuito de aproveitar ao máximo as características mecânicas do bambu, de modo que nesse formato haveria utilização de todas as fibras da planta, nas seções transversais e paralelas, conseqüentemente obtendo um aproveitamento maior de sua massa específica.

O primeiro passo foi cortar a vara de bambu Mosô, nas dimensões de 0,65 x 0,07 x 0,07 m e para essa tarefa utilizou-se uma serra de bancada, compacta 254 mm 102.000 Watts com tensão de 220 Volts. Para retirar o nó interno do bambu, utilizou-se uma serra copos de com seis dentes e profundidade de 50 mm com tensão de 220 Volts.

Após todos os procedimentos de construções das armações, as mesmas foram pesadas. A armação de bambu inteiro possui 0,10765 kg/m, a armação de ripas de bambu possui 0,09124 kg/m e a armação de aço possui 0,87125 kg/m. Ao fim as três armações ficaram conforme ilustra-se a Figura 5.

Figura 5 – As armações prontas.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Assim com embasamento na NBR 67 de 1998, realizou-se a vibração do concreto, foi necessário utilizar a haste para executar essa vibração, conforme é demonstrado na Figura 6.

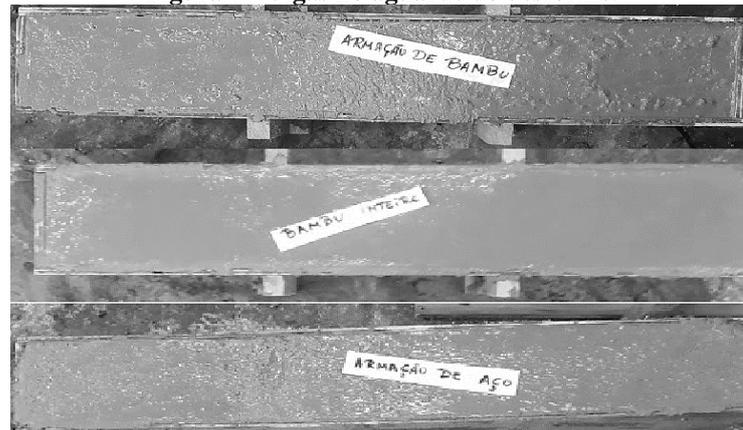
Figura 6 - Vibração das vigas de concreto.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Depois de finalizar os processos de montagem, espaçamentos e vibração, as vigas ficaram na forma por 24 horas em uma sala com a temperatura de 24°C, como descreve na NBR 14931 de 2014 - Execução de estruturas de concreto – Procedimento: Após ocorridas 24 horas do término da injeção e depois de verificar o completo preenchimento do tubo e respiros de injeção, estes devem ser cortados cuidadosamente, a Figura 7 expressa as vigas na forma, após a concretagem.

Figura 7 - Vigas no aguardo do desforme.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Após o período de 24 horas as vigas foram desformadas e colocadas no tanque de cura, então definiu-se o tipo de ensaio, iniciou-se as medições a partir da definição do CG (Centro de Gravidade) da viga retangular. Como as vigas possuem 0,70 m de comprimento, o CG seria 0,35 m, porém é preciso levar em consideração os dois apoios. Cada apoio subtraiu da viga 0,035 m, totalizando 0,07 m. Assim sendo o CG real de atuação da carga estará a 0,315 m das extremidades apoiadas. Após os ensaios de flexão nas vigas, os resultados obtidos foram expressos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados dos ensaios nas três vigas.

| Viga | Matéria-prima | Valores obtidos nos ensaios (tf/m ²) |
|-------------------|---------------|--------------------------------------------------|
| Concreto armado | Aço | 7,57 |
| Concreto gramíneo | Bambu inteiro | 6,75 |
| Concreto gramíneo | Bambu ripa | 6,16 |

Analisando o surgimento da primeira trinca na viga de concreto gramíneo, com a armação de ripas de bambu, o ponto de rompimento foi exatamente na junção do bambu pertencente ao estribo. Percebe-se que nesse ponto a ripa desfez as fibras em formato retilíneo, pode-se considerar que a espessura da ripa do bambu não foi o suficiente, conforme a Figura 8 ilustra. Todavia, outros possíveis fatores podem ter contribuído para o resultado, necessitando de um aprofundamento maior em futuros estudos.

Figura 8 - Fibras em processo de rompimento.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Analisando o surgimento da primeira trinca da viga de concreto armado, o ponto de rompimento foi exatamente na solda presente no estribo. Percebe-se nesse ponto que a solda foi a fraqueza dessa viga, pode-se considerar que a quantidade ou tipo de solda aplicada, não tenha sido eficiente ou adequada, nesse caso avalia-se a possibilidade de utilização de arames ou o aumento da espessura do filete de solda na união do estribo, para obter um resultado maior do que o apresentado. A Figura 9 expressa a análise.

Figura 9 - Rompimento do filete de solda.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Analisando o surgimento da primeira trinca na viga de concreto gramíneo, confeccionada com bambu inteiro, o ponto de rompimento foi exatamente paralelo as fibras, onde o bambu não rompeu por esmagamento de forma transversal, de acordo com a Figura 10.

Figura 10- Rompimento na fibra do bambu.



Fonte: (AUTORES, 2019).

Percebe-se, nesse ponto que as fibras transversais do bambu, possuem excelentes características mecânicas ao suportarem a carga, pois o rompimento ocorreu na parte paralela as fibras, como um efeito de “descolamento” e separação das mesmas, pode-se considerar que o amido (tipo de açúcar) presente nessas fibras, tenha sido o responsável pelo rompimento, pois ainda não existe uma tecnologia que elimine 100% o amido de um bambu.

4 CONCLUSÕES

Com a importância e relevância da construção civil, na economia brasileira e a necessidade de redução dos custos em obras, o bambu pode colaborar com essas prerrogativas.

Com embasamento nos resultados ao longo deste estudo e os contextos ambientais apresentados, é viável a aplicação do bambu *Phyllostachys pubescens* em uso total ou parcial com outros materiais, conforme os CPs construídos de concreto gramíneo demonstraram nas tensões de compressão. Também é possível a aplicação do bambu *Phyllostachys aurea* como reforço do concreto, desde que essa planta não tenha nó, pois desse modo atinge níveis maiores de resistência à compressão axial.

Os ensaios de flexo-compressão nas vigotas de bambu confinado no concreto, apresentaram uma média de 0,0645 MPa e a do aço CA50 confinado no concreto foi de 0,0757 MPa. Nota-se que a diferença da armação de aço para a de bambu variou cerca de 0,011 MPa, sendo essa variação muito pequena, que pode facilmente ser ainda menor ou zerada, visto que são necessários mais estudos sistemáticos sobre o bambu.

Por fim, os resultados adquiridos ao longo desta pesquisa, permitem considerar que o bambu detém resistências mecânicas, para ser empregado em vigas de forma isolada ou parcial com outros materiais, visando a mitigação dos danos ambientais e, conseqüentemente reduzindo o aquecimento global, com a minimização dos GEEs emitidos nos processos de extração e produção de aço e cimento, em suas respectivas industrias. Desse modo é factível afirmar que o bambu coopera com a Engenharia sustentável e a manutenção do planeta Terra.

REFERÊNCIAS

ADAMS, C. **Bamboo Architecture and Construction with Oscar Hidalgo**. In: DESIGNER/builder magazine. New México, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 6118 de 2014 - **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. 221.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 5738 de 2015 para concreto - **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 6.p.

BARBALHO, G. H. N; SILVA, J. S. **Construir cooperando com o meio ambiente: bambu em prol da engenharia sustentável**. ABENGE (COBENGE), Salvador, 2018. Disponível em: http://www.abenge.org.br/sis_artigos.php. Acesso em: 20/12/2018.

BERALDO, L.A. e PEREIRA, R.A.M. **BAMBU DE CORPO E ALMA**. Canal 6 editoras. Bauru-São Paulo, 2016. p.52 – 252.

FERREIRA, A.L.; TSAI, D.S.; VISCONDI, G.F.; CUNHA, K.B.; CREMER, M.S. **Emissões de GEEs do setor de energia, processos industriais e uso de produtos**. Editora IEMA - INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2016.

GHAVAMI, K.; SOUZA, M. V., **Propriedades mecânicas do bambu**. Relatório interno apresentado ao PIBIC, PUC-Rio, 2000.

LIESE, W. **Bambu su cultivo y aplicaciones em fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniaria, artesanía**. Colombia: Estudios Técnicos Colombianos, 1998. p.99.

RISCALA, R. **Por mais ar limpo, saiba que o bambu é um excelente exterminador de CO2**. Paraná, 2010. Disponível em: < <http://www.bonde.com.br/casa-e-decoracao/paisagismo/saiba-que-o-bambu-e-um-excelente-exterminador-de-co2-131120.html>> Acesso em: 22/10/2017.

SELMI, P. **Aço Brasil: Consumo aparente sobe 7,3% em 2018**. São Paulo, 2019. Disponível em: < <https://www.valor.com.br/empresas/6074069/aco-brasil-consumo-aparente-sobe-73-em-2018>> Acesso em: 19/02/2019.

SNIC - **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: < <http://snic.org.br/numeros-resultados-preliminares-ver.php?id=22>> Acesso em: 19/02/2019.

ANALYSIS OF BAMBU AS AN ALTERNATIVE OF USE IN BEAMS, WITH CASE STUDY IN FLEX-COMPRESSION.

Abstract: With the Industrial Revolution, a worldwide transformation changed the relationship between man and nature. Damage generated by industrial and human activities has brought consequences to planet Earth, and thus the degradation of the environment has grown and accelerated. Today, steelmakers and contemporary cement industries bring the unbridled emission of greenhouse gases (GHGs), such as carbon dioxide (CO₂). By analyzing the registered problems, the use of bamboo in the various fields of Engineering can cooperate as a viable alternative, since it is a renewable material with a low cost of production, a clean source of construction and contributes to the sustainable development of the planet. For that, the simple compression strength was evaluated in test specimens (CPs), to observe the rupture and stress modes. We verified the requirements to evaluate the constructive performance, and thus to delimit the structural safety of bodies of evidence. In this way, this study aims to expose the negative and positive aspects of contemporary building using bamboo, as a means of enhancing and correcting its mechanical behavior, through the creation of reference methodologies, which enable bamboo to become a material with the potential for replacement of conventional pillars, as a clean and renewable source of construction.

Key-words: Bamboo; Steel; Concrete; Mechanical resistance; Clean and renewable source.