



Bambu - Impacto Ambiental como sequestrador de gás carbônico

Bamboo - Environmental Impact as a carbon dioxide sequestrant

POZNYAKOV, Karolina M¹; STOLZ, Carina Mariane²; QUALHARINI, Eduardo³
 Karol.poznyakov@poli.ufrj.br¹; carinastolz@poli.ufrj.br²; qualharini@poli.ufrj.br³.

¹Engenheira Civil, Mestre em Engenharia Urbana.

²Engenheira Civil, D.Sc. UFRJ, Rio de Janeiro.

³Engenheiro Civil, D.Sc. UFRJ, Rio de Janeiro.

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Bambu.

Impacto ambiental.

Sequestro de carbono.

Key words:

Bamboo.

Environmental impact.

Carbon sequestration..

Resumo:

Uma das questões mais prementes enfrentadas pela humanidade hoje está relacionada às Mudanças Climáticas Globais, abrangendo fenômenos como chuvas ácidas, a degradação da camada de ozônio, a emissão de gases do efeito estufa e o aumento da temperatura do planeta. Esses desafios são verdadeiramente globais, como sugere o próprio nome, afetando diversos setores da sociedade que precisam reconhecer a importância do problema e adotar mudanças significativas em seus padrões de consumo e comportamento. Um exemplo notável é o setor da construção civil, que é responsável por uma impressionante parcela de 79% das emissões de gases do efeito estufa, incluindo CO₂, CH₄, CHCs e N₂O, entre outros poluentes. No contexto das mudanças climáticas e do aquecimento global, a capacidade de sequestrar carbono (CO₂) desempenha um papel crucial. Nesse sentido, o bambu emerge como uma alternativa altamente promissora. O bambu é reconhecido como um material sustentável e ecologicamente correto, caracterizado por sua capacidade de renovação, flexibilidade, adaptabilidade e versatilidade. Além disso, o bambu é especial por sua leveza e resistência. O uso do bambu não apenas implica um baixo impacto ambiental em seu processo de produção, mas também contribui positivamente para o meio ambiente, atuando efetivamente na captura de carbono, o que ajuda a mitigar o efeito estufa e reduzir as emissões de gases poluentes. Este artigo apresenta a eficiência do bambu no sequestro de gás carbônico através de abordagem qualitativa e quantitativa no levantamento de artigos, referências bibliográficas seguidos da interpretação dessas informações.

Abstract

One of the most pressing issues facing humanity today is related to Global Climate Change, encompassing phenomena such as acid rain, ozone layer depletion, greenhouse gas emissions, and planetary temperature rise. These challenges are truly global in nature, as the name itself suggests, affecting various sectors of society that need to recognize the importance of the issue and make significant changes in their consumption patterns and behavior. A notable example is the construction industry, which is responsible for an impressive share of 79% of greenhouse gas emissions, including CO₂, CH₄, CHCs, and N₂O, among other pollutants. In the context of climate change and global warming, the ability to sequester

carbon (CO₂) plays a crucial role. In this regard, bamboo emerges as a highly promising alternative. Bamboo is recognized as a sustainable and environmentally friendly material, characterized by its renewability, flexibility, adaptability, and versatility. Furthermore, bamboo is remarkable for its lightweight and strength. The use of bamboo not only implies low environmental impact in its production process but also makes a positive contribution to the environment by effectively capturing carbon, which helps mitigate the greenhouse effect and reduce emissions of polluting gases. This article presents the efficiency of bamboo in carbon dioxide sequestration through a qualitative and quantitative approach in the review of articles and bibliographic references, followed by the interpretation of this information.

1. Introdução

O alto consumo de energia pelos materiais mais utilizados na indústria da construção gera a necessidade da busca por opções que unam o conceito de origem renovável ao de sustentabilidade. Assim, o bambu se apresenta como uma importante alternativa, considerando seu crescimento acelerado e elevada produção.

O bambu é uma planta florestal que exhibe excepcional desenvolvimento, constituindo produção de biomassa cerca de duas vezes a do eucalipto, no mesmo intervalo de tempo, podendo ser utilizado na construção por apresentar propriedades físico-mecânicas apropriadas, e elevada durabilidade, quando tratado com substâncias conservantes, apresentando interessante opção à madeira, ao concreto e ao aço [1].

O bambu é utilizado pela humanidade há muitos de anos, principalmente no Oriente, em países como China, Índia, Japão, Indonésia e Filipinas, e no Ocidente, em terras como Colômbia e Costa Rica. De maneira geral, nos continentes americano e asiático, principalmente, onde existem indústrias direcionadas para exploração e comercialização de produtos como pisos, forros e laminados [2].

Documentadamente, o bambu tem oferecido abrigo, alimento, utensílios, ferramentas e uma infinidade de outros itens. Estima-se que o material colabora para a

sobrevivência de mais de centenas de milhares de pessoas [3].

Devido a grande quantidade de bambu existente na Ásia, os orientais implementaram técnicas para a sua viabilização na indústria da construção civil, bem como apresentaram seu uso no setor de irrigação, instrumentos mecânicos para a locomoção, móveis, etc. Na América Latina, foram desenvolvidas tecnologias novas de construção com bambu em conjunto com outros materiais, como o aço, o concreto e a madeira, propiciando a construção de imponentes estruturas, resistentes e belas [4].

Assim, ao se deparar com as vantagens da utilização desse recurso natural, sendo uma opção sustentável para a engenharia, pesquisadores têm dispendido esforços para o dimensionamento da capacidade estrutural dessa matéria prima florestal, bem como de sua trabalhabilidade, isto é, é possível moldar os mais variados formatos e dimensões com o auxílio de formas [5]. Assim sendo, as pesquisas observaram que *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* foram às espécies de bambu mais frequentemente utilizadas, com principais aplicações para laminados, termoplásticos e na construção de treliças, em estado bruto, e no tratamento de esgoto [6].

Em relação a *Guadua angustifolia*, o maior número de ocorrências pode estar diretamente relacionado à existência natural de espécies de *Guadua* na América do Sul, a qual, conforme o Projeto RadAm (Radar da

Amazônia), foi possível identificar uma região de mais de 7 milhões de hectares de bambus do tipo *Guadua* no bioma Amazônico [7].

2. Estrutura

O bambu é da família Poaceae, subfamília *Bambusoideae* e da tribo *Bambuseae*. Segundo o Sistema de Engler¹, ele pertence à divisão Angiospermae e à classe das Monocotyledoneae.

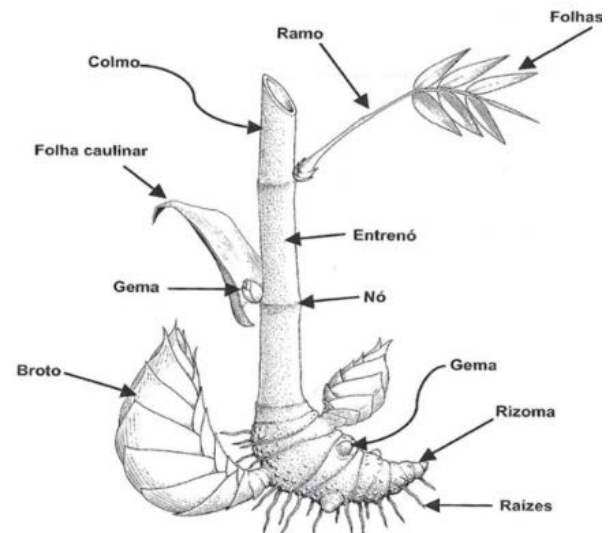
Com mais de 1200 tipos identificados, trata-se de uma planta bastante harmonizada aos diversos climas desde montanhas com baixas temperaturas até regiões tropicais próximas a linha do Equador [8]. Existem aproximadamente 75 tipos de bambu catalogados sendo que essa identificação é dificultada pela imprevisibilidade da floração, e pode estar relacionada à morte da touceira [9]. Aproximadamente 64% das plantações se encontram no sudeste da Ásia, 33% na América do Sul e o restante na África e Oceania [10]. É uma planta tropical e que cresce mais rápido do que qualquer outra planta florestal, precisando, de três a seis meses, em média, para que um broto tenha sua altura máxima, de até 30 metros, as quais são espécies chamadas de gigantes [11].

Na sua maioria, os tipos mais estudados no Brasil são oriundos do continente asiático, como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea* [1]. As nativas necessitam de pesquisas mais aprofundadas e concentram-se em algumas regiões de mata atlântica, e da região amazônica, em especial no estado do Acre. Estudos realizados no Projeto Radam, por meio de imagens de satélites, determinaram a existência de aproximadamente 7 milhões de hectares de bambus no estado do Acre [7].

Quanto ao sistema radicular, os bambus agrupam-se em Paquimorfos ou Entouceirantes (*Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*) e Leptomorfos ou alastrantes

(*Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*). Os primeiros dispõem de rizomas grossos e curtos com gemas laterais e, o segundo grupo têm rizomas que se desenvolvem no solo de forma a abranger grandes áreas (Figura 1). Ainda existem os Anfipodiais, que compartilham das características dos dois tipos (*Chusquea*), de acordo com Lopez [12].

Figura 1 - Partes do bambu.



Fonte: Greco e Cromberg, [13].

3. Propriedades

O bambu possui reduzido peso específico, o que diminui o custo da sua manipulação e do seu transporte [14]. Azzini *et al.* [1] afirmam que a planta apresenta elevada resistência físico-mecânica, flexibilidade e leveza, além de excepcional vigor vegetativo, o que resulta na velocidade do desenvolvimento dos colmos (7,88 cm/dia e 22,0 cm/dia, para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e mostra elevado progresso em altura no período de 80 a 110 dias.

Na pesquisa realizada por Ghavami e Marinho [14], foram executados testes mecânicos em algumas espécies de bambu (*Dendrocalamus giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, *Phyllostachys heterocycla pubescens-Mosó*, e *Phyllostachys bambusoides-Matake*), sendo possível

¹ O sistema Engler foi um dos primeiros sistemas de classificação de plantas, e o primeiro concebido como filogenético, depois que Darwin difundiu a sua Teoria da Seleção Natural.

esquematizar as propriedades mecânicas e físicas, além de apontar o módulo de tensão e resistência na superfície do colmo devido ao nível de flexão dos bambus, objeto do estudo. Organismos internacionais ligados à cultura do bambu [15] classificaram 20 espécies como prioritárias com base em requisitos relativos ao cultivo, ao processamento e aos produtos. Algumas destas espécies e suas principais características podem ser observadas no Quadro 1. (ANEXO A)

4. Sequestro de carbono

O Sequestro de Carbono (“Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”) é uma expressão utilizada para indicar a saída do gás carbônico (CO₂) da atmosfera e sua transformação em oxigênio (O₂). Esta técnica já é realizada de forma espontânea pelos solos, oceanos e florestas, onde os micro-organismos e os organismos, através da fotossíntese, prendem o carbono e soltam o oxigênio na atmosfera [16].

A importância do sequestro de carbono para o efeito estufa é fundamental no contexto das mudanças climáticas e do aquecimento global. O fenômeno do efeito estufa é um processo natural em que determinados gases presentes na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), atuam como uma espécie de cobertor, capturando o calor do sol na Terra (Figura 3). Isso é fundamental para manter a temperatura média do planeta em um nível adequado para a vida. No entanto, as emissões desses gases de efeito estufa envolvem a Terra de forma semelhante a uma capa, retendo o calor solar. Esse processo resulta no fenômeno do aquecimento global e desencadeia mudanças climáticas significativas. Atualmente, o mundo está passando por um aquecimento mais acelerado do que qualquer período previamente registrado na história.

No entanto, segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, nas últimas

décadas, a atividade humana tem aumentado significativamente a concentração desses gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, desmatamento, agricultura intensiva e outras atividades industriais. Esse aumento exacerbou o efeito estufa, levando a um aquecimento global, com consequências potencialmente devastadoras para o clima e o meio ambiente.

À medida que a concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera se eleva, ocorre um aumento correspondente na temperatura da superfície global. A última década, compreendendo o período de 2011 a 2020, registrou as temperaturas mais altas já documentadas. Desde a década de 1980, a tendência tem sido que cada década subsequente seja mais quente do que a anterior. Praticamente todas as regiões do mundo têm experimentado um aumento no número de dias com altas temperaturas e ocorrência de ondas de calor. Essas temperaturas mais elevadas têm consequências diretas, incluindo um aumento nas doenças relacionadas ao calor e desafios adicionais para o trabalho ao ar livre. Além disso, as condições mais quentes facilitam o início e a propagação mais rápida de incêndios florestais. Um exemplo notável é o Ártico, onde as temperaturas aumentaram pelo menos duas vezes mais rapidamente do que a média global.

Algumas ações foram sugeridas no Tratado de Kyoto, em 1997², para a redução dos níveis de CO₂ na atmosfera, que estabeleceu, naquele momento, como objetivo para países desenvolvidos, a redução em 5% da emissão de gases que ocasionam o efeito estufa até o ano de 2012. Na conferência do clima da Organização das Nações Unidas (ONU), em 2009, em Copenhague, o governo brasileiro declarou uma meta voluntária para redução dos gases de efeito estufa entre 36,1% e 38,9%, até 2020. Na recente COP26³, em

² O Protocolo de Quioto é um tratado internacional ambiental de 1997 com compromissos mais rígidos para a redução da emissão dos gases que produzem o efeito estufa

³ COP26 é abreviatura de “Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), 26ª edição. É um evento anual no qual a Organização das Nações Unidas (ONU) traz discussões sobre as mudanças climáticas no mundo..

2021, em Glasgow, Escócia, o Brasil assumiu um novo compromisso de mitigar suas emissões de gases de efeito estufa em 50%, até 2030. O Pacto de Glasgow⁴ também motiva os países a acelerar a mudança para a utilização de energia de baixa emissão, incluindo fortes dedicações para a eliminação gradual de energia oriunda de usinas de carvão, onde não se utilizam tecnologias como o sequestro de carbono (CCS⁵) bem como a sua captura, utilização e armazenamento simultaneamente (CCUS⁶).

Para minimizar o nível de dióxido de carbono no ar há dois cenários possíveis: a redução das emissões do gás ou a retenção do dióxido de carbono produzido em excesso, o chamado sequestro de carbono [17].

Segundo Coltri *et al.* [18], que vêm pesquisando a possibilidade de utilizar coeficientes de vegetação para aferir a biomassa e o potencial de captura e estoque de carbono das plantações de café, a captura é uma medida da quantidade de carbono que a planta extrai da natureza e incorpora em sua biomassa. Quando se modifica o bambu, ou qualquer outro vegetal em produtos (móveis, por exemplo), está se armazenando o carbono e reduzindo os problemas ambientais. Entretanto, o estoque na biomassa que a planta armazena eternamente nas folhas, nos ramos e no tronco, só se perde quando há a derrubada ou a queima de sua peça. “Estima-se que 50% da biomassa em uma planta seja composta por carbono, mas isso pode mudar de acordo com a espécie”, declaram os pesquisadores.

Durigan [19], observa que a taxa de absorção depende de três aspectos: da temperatura, que se altera conforme a disponibilidade de nutrientes, de água do meio e do tipo de vegetação (florestas homogêneas ou geneticamente modificadas retêm o carbono até 10 vezes mais rápido do que as

florestas naturais), bem como, do armazenamento de carbono na atmosfera (quanto mais elevada é a concentração, mais veloz é a fixação).

Tanto o eucalipto quanto o bambu capturam carbono da atmosfera para compor sua biomassa viva. Para se definir o potencial de sequestro de carbono do bambu, compara-se a quantidade de carbono estocada na madeira e no bambu, com o total de CO₂ emitido no transcorrer de sua cadeia produtiva [20].

O estudo de Delgado [21] apresenta uma análise elementar no bambu e no eucalipto. Na análise, a alteração de carbono entre os dois tipos de vegetais analisados foi de 2,7%. Logo, considerando desprezível a diferença entre a quantidade de carbono no bambu e no eucalipto, utilizou-se a mesma equação de Reis *et al.* [22] para ambos. De acordo com esse cálculo, a quantidade carbono (C) apresentada é igual a 50% do peso da madeira. Dessa forma, tanto 1 tonelada de bambu quanto 1 tonelada de eucalipto têm 0,5 tonelada de carbono. Entretanto, como cada 1 kg de carbono (C) corresponde a 3,67 kg de CO₂eq⁷, em cada tonelada de bambu ou de eucalipto são armazenados, aproximadamente, 1.835 kg de CO₂eq.

5. Métodos para determinação do resgate de carbono

A maioria dos cálculos realizados a partir da biomassa são através de uma metodologia aprovada em 2005 pela UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*)⁸, a qual acompanha e controla o estoque de carbono em florestas. Similar ao

⁴ O Pacto Climático de Glasgow, documento final da COP26, representa o acordo entre mais de 200 países envolvidos nas negociações. Foi assinado em 13 de novembro de 2021

⁵ CCS – *Carbon Capture and Storage*.

⁶ CCUS – *Carbon capture, utilization and storage*.

⁷ O fator de conversão de carbono em dióxido de carbono igual a 3,67 foi obtido pela razão entre a massa molecular do dióxido de carbono

(CO₂) igual a 44 g/mol e a massa atômica do carbono (C) igual a 12 g/mol.

⁸ Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. Promulga a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. É um tratado internacional resultante da Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CNUMAD), informalmente conhecida como a Cúpula da Terra, realizada no Rio de Janeiro em 1992 e assinada em Nova York, em 9 de maio de 1992.

método LiDAR⁹, utilizado no cálculo da biomassa em árvores que pode ser utilizada para calcular a biomassa do bambu [23].

Segundo Delgado [21], o nível de carbono é calculado por meio da biomassa e baseia-se na dimensão das plantas em uma determinada região. É um cálculo pouco científico e sugestionado por diversas razões, como a taxa de luminosidade, a temperatura da região analisada, a idade da planta, a influência de outras plantas na região estudada. Esse cálculo consiste em selecionar uma área específica de uma floresta ou plantação, e apontar as medidas de tamanho e peso de todo vegetal apresentado naquela região, como no caso do bambu, considera-se os colmos, folhas, galhos e, inclusive, raízes. Na sequência, é utilizada uma equação matemática que resulta na quantidade de carbono naquela região. Neste cálculo, são consideradas as modificações de densidade aparente e de espessura da camada analisada.

Este método relaciona muitas variáveis que o induzem sendo, por consequência, um método indeterminado e pouco confiável. Delgado [21] explica que poucos pesquisadores separam as amostras por idade. São consideradas todas as espécies naquela determinada região, e muitas vezes existem outros tipos de plantas que, conforme o método, devem ter suas medidas consideradas também. Entretanto, alguns realizaram análise em uma mesma plantação em áreas próximas, e os resultados se apresentaram muito diferentes. Isso se deve porque a iluminação direta varia de uma área para outra, seja pela existência de vegetações mais altas ou pela geografia do local. Outro fator relevante a considerar é que as equações utilizadas são realizadas a partir de padrões internacionais, isto é, não são desenvolvidas considerando as condições de clima e solo específicos podendo sub ou superestimar a biomassa analisada.

Segundo Delgado [21], na Universidade Paulista, alguns pesquisadores mediram o

fluxo de CO₂ em três níveis, em uma plantação comercial de bambu: implantação, adaptação e operação, objetivando uma avaliação mais integralizada das quantidades de CO₂ eliminadas e estocadas ao longo dos 25 anos de vida útil. O objetivo foi medir a taxa real de absorção de carbono de uma plantação, visando avaliar o potencial real de uma plantação de bambu e, considerando que uma relevante quantidade de CO₂ é emitida através dos insumos utilizados na implantação e manutenção da cultura, isto é, utilização do óleo diesel. Os resultados relataram que o bambu é uma planta com alto potencial de armazenamento de carbono (entre 31.860 e 77.039 kgCO₂/ha ano).

Borges *et al.* [24], analisaram a taxa de absorção do CO₂ medida de algumas espécies de microalgas comumente utilizadas na agricultura. Foi medida a taxa de fotossíntese desses microorganismos, e foi possível quantificar o fluxo de carbono através dos indicadores fotossintéticos das curvas P_{XI} (taxa de fotossíntese X irradiância de saturação) e descobriram a época do ano mais adequada para o florescimento de espécies determinadas, considerando-se condições de nutrientes e de temperatura favoráveis. As espécies com taxas maiores de produção e crescimento de biomassa apresentavam melhor eficiência fotossintética e baixa liberação de carbono no máximo ponto de saturação de luz, onde acontece a máxima produção fotossintética. Eles compararam espécies de microalgas diferentes e determinaram para quais teriam os maiores valores de absorção.

Oliveira *et al.* [23] calcularam na respiração do solo e no carbono na biomassa em plantio comercial de seringueiras no Paraná. Através da utilização do método de Walkley-Black¹⁰, eles moeram as amostras em laboratório e o conteúdo de carbono foi determinado para cada subamostra.

⁹ LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia de valor essencial para obtenção dos dados florestais e empregada para a obtenção de medidas diretas da vegetação, como altura do dossel, o número de indivíduos, o volume e o diâmetro da copa.

¹⁰ O método do Walkley-Black (1934) é o método para determinação do carbono mais utilizado nos laboratórios brasileiros, de simples execução e dispensa o uso de equipamentos especializados.

Um tipo de estudo conhecido como FACE (Enriquecimento de Dióxido de Carbono em Ar Livre) tem sido conduzido em diversas nações, incluindo os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, Austrália, Itália, Dinamarca e outros, com o objetivo de examinar de maneira específica os efeitos do aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera sobre as plantações. O primeiro experimento FACE na América Latina está atualmente em processo de instalação no Brasil, próximo à cidade de Jaguariúna, no estado de São Paulo, conduzido por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). [25].

6. Análise dos Resultados

Pesquisadores encontraram um valor médio do teor de carbono resultante nas amostras de bambu de 44,33%. O valor médio da porcentagem de hidrogênio foi 6% para as mesmas amostras e a porcentagem de nitrogênio foi mitigada em todas as amostras. Ao comparar com serragem de *Eucalyptus sp*, os teores de C, H, e N, apresentaram resultados muito semelhantes. [26]

Conforme Lana et al [26], a análise apresenta que o teor de carbono aumenta a cerca de 42-43% até 44-45% com a maturidade do bambu. Esses níveis foram resultantes das amostras contendo todas as partes do caule de cada idade (amostras 2Stot, 1Atot, 2Atot, 2,5Atot, 3Atot e 4Atot). Este aumento é pouco significativo e demonstra que o nível de carbono no bambu permanece o mesmo, apesar da sua idade. Entretanto, quando foram analisadas isoladamente os três pontos principais do caule - parte externa, interna e do meio - verificou-se que o teor de carbono é sensivelmente mais baixo na parte interna do caule, sendo que esta diferença cresce com a idade do bambu. O mesmo ocorre com os teores de hidrogênio. Para esta análise não foram considerados os níveis de nitrogênio.

6.1 Estimativa da Absorção de CO₂ Devido ao Aumento da Biomassa do Bambu

Ao examinarmos a taxa de expansão do bambu e a quantidade de carbono que ele retém, procedemos a cálculos destinados a estimar a quantidade aproximada de dióxido de carbono (CO₂) absorvida. Essa avaliação está intrinsecamente ligada à rapidez com que a planta cresce e ao seu ciclo de produção. Isso ocorre porque quanto mais rápido o crescimento da planta, maior será a acumulação de biomassa e, conseqüentemente, maior será a capacidade de sequestro de carbono. [26].

A Tabela 1 apresenta a produtividade e o ciclo da cultura para três tipos diferentes de plantas: pinus, eucalipto e bambu. Ressalta-se que a produtividade de bambu (40-60 toneladas por hectare por ano) é maior que a do pinus e é próxima a do eucalipto (30-50 toneladas por hectare por ano), entretanto, o ciclo de cultura do bambu é de apenas 2-6 anos. Isso implica que o tempo de plantio e de colheita do bambu é de 2 a 6 anos enquanto o tempo de plantio e de colheita do eucalipto varia entre 7 e 10 anos [21].

Tabela 1: Comparativo de produtividade entre Pinus, Eucalipto e Bambu

	Pinus	Eucalipto	Bambu
Ciclo cultural - anos	15-25	7-10	2-6
Produtividade - t/ha.ano	25-35	30-50	40-60

Fonte: Adaptado de Delgado [21].

Supondo que uma plantação de bambu tenha uma média de 50 toneladas de bambu por hectare em um ano, e que 44% dessa biomassa seja composta de carbono, então, em média, um hectare de bambu retém cerca de 22 toneladas de carbono por ano. Em contraste, o eucalipto, por exemplo, armazena uma média de 40 toneladas de biomassa por hectare a cada ano, o que equivale a aproximadamente 17,6 toneladas de carbono por hectare por ano. Isso implica em uma média de 20% a mais de retenção de carbono em um hectare de bambu em comparação com o eucalipto.

Observando a taxa média de produtividade de cada planta, tem-se que a média de produção do pinus é de 30 toneladas por hectare por ano, do eucalipto 40 toneladas por hectare por ano e do bambu 50 toneladas

por hectare por ano. Para o caso em que os três tipos de plantas são plantados ao mesmo tempo, em dois anos será possível realizar o primeiro corte do bambu, em sete anos o primeiro corte do eucalipto e em quinze anos o primeiro corte do pinus. Ainda, conforme informações da Associação Catarinense de Bambu, o replantio do bambu se dá por mais de 100 anos, já que novos brotos surgem espontaneamente a cada ano. O pinus é replantado após cada corte, isto é, a cada 15 anos, o eucalipto rebrota após o corte, porém deve ser replantado depois de 4 ciclos, assim sendo, no 28º ano.

Se a média da produção do bambu é de 50 toneladas por hectare por ano, e a colheita pode ser feita bianualmente, a cada colheita está sendo armazenado cerca de 45% de carbono por espécie. Até que a porcentagem de carbono do pinus e do eucalipto sejam parecidas à porcentagem de carbono armazenada pelo bambu, e se as espécies forem colhidas no tempo certo de colheita e armazenadas, ao longo de 15 anos terá sido armazenado cerca de 14t de carbono pelo pinus, 35t pelo eucalipto e 154t pelo bambu.

Ainda, observando a média de produção anual do bambu de 50 toneladas por hectare por ano tem-se que, para cada unidade de carbono armazenado, foi capturado uma molécula de CO₂. Anualmente, como foi visto que, acumula-se em média 22t de carbono em 1ha de bambu, e multiplicando estes valores da razão entre as massas molares do CO₂ e do carbono, conclui-se que serão sequestrados 80t de CO₂ por ano. Realizando os mesmos cálculos comparativos para o pinus e para o eucalipto tem-se que o pinus armazena por ano uma média de 47t de CO₂ e o eucalipto 63t. Essa diferença justifica a tese de o bambu ser um eficiente sequestrador de carbono.

7. Considerações Finais

O bambu, além de apresentar condições favoráveis de desenvolvimento para as características geoclimáticas do território

brasileiro, possui uma taxa de crescimento elevada para um curto espaço de tempo, o que reflete em alta produtividade. Este fator pode permitir que comunidades rurais desfrutem do material como um complemento à fonte de renda, contribuindo para ressignificação dos recursos locais e das relações socioespaciais.

Todavia, existem obstáculos em relação à implementação do bambu na engenharia. Tais barreiras estão atreladas, principalmente, aos mecanismos de mercado do setor da construção civil, bem como à ausência de uma efetiva aceitação do material pelos agentes da sociedade. Apesar desses entraves, é preciso reconhecer os avanços ocorridos em território nacional, que incluem desde o protagonismo das agências de fomento à pesquisa, a criação de normas (Lei Federal nº 12.484/2011, Lei Estadual nº 15.977/2015-SP, Lei Estadual nº 6.719/2014-RJ, Lei Estadual nº 21.162/2022-PR, NBR ABNT NBR 16828, NBR 7190/1997, ISO 22156/2004, ISO 22157-1/2004, ISO 22157-2/2004), os grupos de estudo, pesquisa e difusão de conhecimento (EBIOBAMBU¹¹; CERBAMBU RAVENA – Centro de Referência do Bambu e das Tecnologias Sociais), até a implementação de projetos estruturais com aplicação do material (por exemplo, projetos realizados pela empresa Bambu Carbono Zero). É importante que sejam desenvolvidos programas de incentivo pelo poder público para o uso, em larga escala, do bambu na área da engenharia, bem como se deve buscar a padronização dos procedimentos de transformação da planta em insumo de construção, de modo a assegurar sua qualidade. Por meio de avanços gradativos, que já vêm ocorrendo, torna-se mais tangível a promoção de mudanças no contexto da engenharia civil, permitindo a inserção de materiais não convencionais, tal qual o bambu, como elemento constituinte das edificações

Mesmo que as pesquisas relacionadas ao envolvimento do bambu como agente sequestrante de carbono possam parecer precipitadas e incipientes, é importante frisar

¹¹ É uma Escola prática de bioconstrução, viveiro de mudas com 60 espécies no Rio de Janeiro.

que durante o tempo demandado para que uma floresta seja considerada madura, muitas toneladas de carbono foram extraídas da atmosfera e retidos na biomassa, a qual já traz significativas mudanças climáticas e reduzindo consideravelmente o progresso do efeito estufa.

O bambu se mostra como um material de muitas propriedades, porém pouco exploradas e, o campo de estudos e pesquisa é bastante amplo. Este artigo pode ser considerado como um ensaio preliminar que sugere as infinitas vantagens do uso do bambu e abre um campo para futuros estudos de forma aprofundada.

Algumas das futuras soluções para a viabilidade do bambu na construção civil, porém, não limitado a, incluem incentivo à pesquisa e inovação, maior divulgação do potencial do bambu, desenvolvimento de redes de fornecedores e estímulo ao uso do bambu em políticas públicas.

8. Referências Bibliográficas

- [1] AZZINI, A., SANTOS, R. L. PETTINELLI JÚNIOR, A. *Bambu: Material alternativo para construções rurais*. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997 BAMBUSC.
- [2] LOPEZ, H. O. *Bamboo, The gift of the gods*. Oscar Hidalgo Lopez editor, 2003, 553 p.
- [3] SASTRY, C.B. *Timber for the 21st Century*. Inbar, 1999.
- [4] SOBRINHO JÚNIOR, Antônio da Silva. *Avaliação do efeito de parâmetros microestruturais e de processo de impregnação de fluidos em colmos de bambusa vulgaris*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- [5] ARCHILA, H.; KAMINSKI, S.; TRUJILLO, D.; ESCAMILLA, E.Z.; HARRIES, K. A. *Bamboo reinforced concrete: a critical review*. *Materials and Structures*, v. 51, n. 4, p. 102, 2018
- [6] TEDESCHI, Samara Pereira, et al. *O uso do bambu: o papel da cadeia produtiva no setor moveleiro e da construção civil no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ciência, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2011.
- [7] PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de Corpo e Alma*. Bauru, SP: Canal6, 2007.
- [8] LIU, D.; ZOHONG, T.; CHANG, P. R.; LI, K.; WU, Q. *Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals*. *Bioresource Technology* 101 (2010) 2529–2536.
- [9] LIESE, W. *The anatomy of bamboo culms*. Beijing. Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 1998. 203 p
- [10] MASTAI, Y. *Materials science-advanced topics*. 1aed. Intechopen, 2013.
- [11] FARRELY, David. *The book of bamboo*. San Francisco, EUA. Sierra Club Books. 1984, 340p.il.
- [12] LOPEZ, H. O. *Bambu, su cultivo y aplicaciones en: fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería, artesanía*. Cali, estudios Técnico Colombianos Ltda, 1974, 176 p.
- [13] GRECO, T.M.; CROMBERG, M. *Bambu: cultivo e manejo*. Florianópolis: Insular. 184p., 2011.
- [14] 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*, v. 9, n. 1, p. 107–114, mar. 2005.
- [15] INBAR. International Network of Bamboo and Rattan. Priority species of bamboo and rattan. New Delhi, India. f.116, 1998
- [16] AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. *Potencial de*

- culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.189-197, 2001.
- [17] PACHECO, S.P.R.M.; HELENE, M.E.M. *Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂*. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0103-40141990000200010>
- [18] COLTRI, P. P.; ZULLO JR, J.; GONÇALVES, Renata Ribeiro do Valle; ROMANI, Luciana Alvim S; PINTO, Hilton Silveira. *Estimativa de Biomassa e Estoque de Carbono da Safra de Café com Uso de Imagens de Satélites de Alta Resolução*. IEEE Geoscience & Remote Sensing Society, 2013.
- [19] DURIGAN, G. *Estimativas de Estoque de Carbono na Vegetação Natural do Estado de São Paulo*. Estudos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2004.
- [20] HERNANDES, Z.T. *Piso de bambu chinês vs. piso de eucalipto brasileiro: estudo de caso comparativo das emissões de gases de efeito estufa no transporte*. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000100002>
- [21] DELGADO, P. S. *O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações*. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2011.
- [22] REIS, M. G. F. *et al. Sequestro e Armazenamento de Carbono em Florestas Nativas e Plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo*. In: Seminário Emissão X Sequestro de CO₂, Rio de Janeiro, 1994. Anais... Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
- [23] OLIVEIRA, T. L. de; FERNANDES, C. A.; OLIVEIRA, M. de F. *Florestas, unidades de conservação e comunidade tradicional: relato de experiência de uma intervenção participativa. Percepção ambiental de moradores do assentamento vale verde: relato de experiência de uma intervenção participativa*. PROEX, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p.25-32, dez. 2011.
- [24] BORGES, L.; FARIA, B. M.; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C. *Potencial de Absorção de Carbono por Espécies de Microalgas Usadas na Aquicultura: Primeiros Passos para o Desenvolvimento de um “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”*. Rio Grande, Atlântica, 29(1): 35-46, 2007.
- [25] HANSTEIN, S.; BEER, D.; FELLE, H. H. *Miniaturised carbon dioxide sensor designed for measurements within plant leaves*. Sensors and Actuators B, 81, p:107–114. 2001.
- [26] LANA, S. L.; DELGADO, P. S.; AYRES, E.; ORÉFICE, R. L. *The Potencial of Bamboo for the Design of Polymer Composites*. In. Materials Research. 2012.

ANEXO A

Quadro 1: Espécies prioritárias de bambus

Espécie	Alturas dos Colmos (m)	Diâmetro dos Colmos (cm)	Espessura das Paredes (cm)	Comprimento do Entrenó (cm)	Usos
<i>Bambusa balcooa</i>	20 a 24	8 a 15	2 a 2,5	30 a 45	Construções, casas e pontes
<i>Bambusa bambos</i>	15 a 30	15 a 18	1 a 1,5	20 a 40	Estrutural, material de construção e placa de bambu (Plybamboo)
<i>Bambusa blumeana</i>	15 a 25	6 a 10	0,5 a 3	25 a 60	Construção, laminado de bambu
<i>Bambusa Tulda</i>	até 30	5 a 10	0,4 a 0,7	40 a 70	Estruturas de madeira de qualidade média, construção
<i>Bambusa vulgaris</i>	8 a 20	5 a 10	0,7 a 1,5	25 a 35	Construção, andaimes
<i>Dendrocalamus asper</i>	20 a 30	8 a 20	1,1 a 2	20 a 45	Estrutural, útil para construção pesada em comunidades rurais
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	24 a 60	10 a 20	2,5	40 a 50	Bambu gigante, utilizado na indústria de laminado colado
<i>Gigantochloa apus</i>	8 a 30	4 a 13	1,5	36 a 45	Múltiplos usos, como ripas e laminados, materiais de construção e fins estruturais
<i>Gigantochloa levis</i>	até 30	5 a 16	1 a 1,2	45	Estrutural
<i>Gigantochloa pseudoarundinacea</i>	7 a 30	5 a 13	2	35 a 45	Estruturas de madeira, materiais de construção, tubulações de água
<i>Melocanna baccifera</i>	10 a 20	5 a 7	0,5 a 1,2	20 a 50	Coberturas em construções de casas

Fonte: INBAR [15]