

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE - MESTRADO PROFISSIONAL
CAMPUS RIO VERDE**

**TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA
UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Autora: Ana Flávia Guerra Ferreira Campos

Orientador: Michell Macedo Alves

RIO VERDE - GO

2024

ANA FLÁVIA GUERRA FERREIRA CAMPOS

**TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA UTILIZAÇÃO NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Orientador: Prof. Dr. Michell Macêdo Alves.

RIO VERDE - GO

2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

CC198t Campos, Ana Flávia Guerra Ferreira
TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA
UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO
SISTEMÁTICA / Ana Flávia Guerra Ferreira Campos;
orientador Michell Macedo Alves. -- Rio Verde, 2024.
48 p.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade) -- Instituto Federal Goiano,
Campus Rio Verde, 2024.

1. Material renovável. 2. Durabilidade. 3.
Tratamento preservativo. 4. Propriedades físicas e
mecânicas. I. Alves, Michell Macedo , orient. II.
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 26/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Autora: Ana Flávia Guerra Ferreira Campos
Orientador: Prof. Dr. Michell Macedo Alves

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

APROVADO em 26 de abril de 2024.

Prof. Dr. Alex Neves Junior
Avaliador Externo - Universidade
Federal de Mato Grosso

Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime
Avaliador Interno - IFGOIANO / Rio
Verde

Prof. Dr. Michell Macedo Alves
Presidente da banca - IFGOIANO / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Alex Neves Junior, Alex Neves Junior - Professor Avaliador de Banca - Ufmt (33004540000100), em 02/05/2024 19:48:39.
- Bacus de Oliveira Nahime, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/04/2024 17:57:40.
- Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/04/2024 17:47:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/04/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 588388
Código de Autenticação: 146fa23a73



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 45/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 74
Data: 26/04/2024	Hora de início: 09:00h	Hora de encerramento: 12:00h
Matrícula do discente:	2021202331440002	
Nome do discente:	Ana Flávia Guerra Ferreira Campos	
Título do trabalho:	TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Orientador:	Michell Macedo Alves	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Tecnologia e Ciência dos Materiais	
Projeto de pesquisa de vinculação	TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. Michell Macedo Alves (Presidente da banca), Prof. Dr. Bacus de Oliveira Nahime (Avaliador Interno) e Prof. Dr. Alex Neves Junior (Avaliador Externo) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de ANA FLÁVIA GUERRA FERREIRA CAMPOS, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Michell Macedo Alves, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- Alex Neves Junior, Alex Neves Junior - Professor Avaliador de Banca - Ufmt (33004540000100), em 02/05/2024 19:51:12.
- Bacus de Oliveira Nahime, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 01/05/2024 16:34:19.
- Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 29/04/2024 18:54:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/04/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 588382

Código de Autenticação: 0ada85536a



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo: _____

Nome completo do autor: AnaFláviaGuerraFerreiraCampos Matrícula: 2021202331440002

Título do trabalho: TRATAMENTOS QUÍMICOS DE COLMOS DE BAMBU PARA UTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 19 / 06 / 2026

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde 19/06/2024

gov.br Documento assinado digitalmente
ANA FLAVIA GUERRA FERREIRA CAMPOS
Data: 19/06/2024 12:04:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Dr. Mitchell Macedo Alves
Engenheira Civil

Ciente e de acordo:

Assinatura do orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, criador inefável e fonte verdadeira da luz e ciência, por me conceder sabedoria e saúde para trilhar os caminhos por mim escolhidos. À minha mãe, irmã e namorado, por me apoiarem e compreenderem o tempo em que não pude estar presente, para me dedicar à elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador Michell Macedo Alves, pela oportunidade de desenvolver a pesquisa, pelo tempo dedicado ao trabalho e pelo incentivo em períodos difíceis.

Agradeço também ao Instituto Federal Goiano, a Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade e a todo o seu corpo docente, que durante as disciplinas não mediram esforços para transmitir conhecimentos científicos, que foram de extrema importância para a execução do trabalho.

Por fim, agradeço à Prefeitura Municipal de Rio Verde - GO, pelo incentivo à capacitação dos servidores.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Ana Flávia Guerra Ferreira Campos, brasileira, nascida em Rio Verde-GO, engenheira civil, formada pelo Instituto Federal Goiano em 2019, pós-graduada em Gerenciamento de Obras e Controle de Custos pela Faculdade Cambury e em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Cruzeiro do Sul em 2021. Atualmente, servidora pública na Prefeitura Municipal de Rio Verde-GO, ocupando o cargo de Analista de Projetos, e mestranda no programa de pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano de Educação, Ciência e Tecnologia.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES.....	VIII
RESUMO.....	X
INTRODUÇÃO GERAL.....	12
PROBLEMA	15
HIPÓTESE	16
OBJETIVOS.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
CAPÍTULO 1	19
Resumo.....	19
Abstract.....	19
1.1 Introdução.....	20
1.2 Método.....	21
1.2.1 Planejamento.....	21
1.2.2 Condução.....	23
1.2.2.1 Seleção dos estudos.....	23
1.2.2.2 Extração de dados.....	24
1.2.3 Documentação.....	24
1.3 Resultados e discussões.....	24
1.3.1 Tratamentos químicos.....	26
1.3.1.1 Acetilação e polimerização.....	27
1.3.1.2 Ácidos policarboxílicos.....	28
1.3.1.3 Furfurilação em massa.....	28

1.3.1.4 Colofônia.....	29
1.3.1.5 Boro e tanino.....	29
1.3.2 Propriedades físicas.....	30
1.3.2.1 Inchaço.....	32
1.3.2.2 Ganho de peso.....	33
1.3.3 Propriedades mecânicas.....	34
1.3.3.1 Compressão.....	36
1.3.3.2 Flexão.....	37
1.4 Conclusões.....	37
1.5 Referências bibliográficas.....	38
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – Critérios de seleção.....	22
TABELA 2 – Propriedades físicas e mecânicas do bambu.....	22
TABELA 3 – Relação dos artigos selecionados quanto ao ano e periódico.....	24
TABELA 4 – Tratamentos químicos e espécies de bambu empregados em cada artigo.....	26
TABELA 5 – Propriedades físicas em relação ao tratamento químico.....	31
TABELA 6 – Propriedades mecânicas em relação ao tratamento químico.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de revisão sistemática.....	21
Figura 2 – Processo de seleção dos estudos.....	23
Figura 3 – Relação dos artigos selecionados quanto ao país e à espécie de bambu.....	25
Figura 4 – Relação das propriedades físicas analisadas em cada artigo.....	30
Figura 5 – Alteração das propriedades físicas após o tratamento químico.....	32
Figura 6 – Relação das propriedades mecânicas analisadas em cada artigo.....	34
Figura 7 – Alteração das propriedades mecânicas após o tratamento químico.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo/Sigla	Significado	Unidade
FGM	Material de Classificação Funcional	-
CO ₂	Gás carbônico	-
CCA	Arseniato de cobre cromatado	-
CCB	Borato de cobre cromatado	-
RSL	Revisão Sistemática da Literatura	-
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis</i>	-
StArt	<i>State of the Art through Systematic Review</i>	-
LaPES	Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software	-
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos	-
NBR	Norma Brasileira Registrada	-
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	-
CA	Ácido cítrico	-
BTCA	Ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico	-
OST	Octaborato de sódio tetra hidratado	-
TH	Tanino/hexamina	-
VA	Acetato de vinila	-
MMA	Metacrilato de metila	-
FA	Álcool furfurílico	-
P	Compósitos à base de cera de parafina	-
S	Ácido esteárico	-
NaOH	Hidróxido de sódio	-
Na ₂ S	Sulfeto de sódio	-
NMA	N-metilol de acrilamida	-
ACQ	Compostos quaternários alcalinos de cobre	-
Tanalith-E	Tratamento com cobre e biocidas orgânicos	-
Cu-B-P	Cobre, boro e fósforo	-
H ₃ BO ₄	Ácido bórico	-
CuSO ₄	Sulfato de cobre	-
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico	-
Si-Al	Silício e alumínio	-

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de alumínio	-
CH_3CO	Grupo acetila	-
$\text{CH}_3\text{-N-}$	Grupo N-metila	-
$\text{CH}_2=\text{CH-}$	Grupo vinil	-
$-\text{OH}$	Grupo hidroxila	-
PCAs	Ácidos policarboxílicos	-
MOR	Módulo de ruptura	MPa
MOE	Módulo de elasticidade	MPa
MPa	Megapascal	-

RESUMO

O uso de materiais de construção civil convencionais é responsável pela geração de um alto consumo de energia, impactos ambientais e custos elevados. Assim, a busca por materiais renováveis que apresentem boa resistência e baixo custo é recorrente entre os profissionais e pesquisadores da área. Em razão das suas apropriadas características físicas e mecânicas, o bambu é um material ideal para ser utilizado na construção civil em substituição aos materiais não-renováveis. Entretanto, por apresentar uma sensibilidade à umidade e estar sujeito ao ataque de fungos e insetos, o bambu precisa passar por um processo de tratamento preservativo para aumentar sua durabilidade e viabilizar seu uso como material de construção. Existem diferentes tipos de tratamento, como a maturação, a imersão em água, a defumação e tratamentos térmicos, mas os que fazem uso de produtos químicos garantem uma maior durabilidade, sendo mais indicados para a aplicação em bambus destinados à construção. Vários estudos visam a avaliar e a comparar o desempenho dos tratamentos químicos para diferentes espécies de bambu. Esta pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) a fim de resumir as evidências encontradas em relação ao assunto, verificando a influência dos tratamentos químicos nas propriedades físicas e mecânicas do bambu. A condução da revisão foi feita por meio de buscas em quatro bases de dados, sendo elas: Science Direct, Scopus, Periódicos Capes e Engineering Village. Utilizou-se a ferramenta PRISMA, com o auxílio do software StArt, para a execução do protocolo de revisão, tendo sido definidas as strings de busca, os critérios de seleção e a estratégia para a extração de dados. A síntese dos dados obtidos foi elaborada por meio da construção de gráficos e tabelas que apresentam o método de tratamento, o produto químico, a espécie de bambu e as propriedades físicas e mecânicas analisadas em cada estudo. Os resultados comprovaram que os tratamentos químicos levam a uma melhora nas propriedades físicas e mecânicas do bambu. Verificou-se que os tratamentos com cera de parafina + ácido esteárico, acetato de vinila + metacrilato de metila e ácido cítrico foram mais eficientes em relação aos demais para a melhora da estabilidade dimensional, mas os bambus tratados com estes produtos apresentaram resultados inferiores de resistência mecânica. Os estudos revelaram que a modificação com ácido cítrico leva a uma redução na resistência à flexão. Já o tratamento com N-metilol de acrilamida (NMA) se destacou no que diz respeito à melhora do desempenho mecânico do bambu, sendo que os tratamentos com ácido bórico + bórax (OST) e tanino (TH) + OST também apresentaram bons resultados. Entretanto, foi identificado que o boro é suscetível à lixiviação e que, apesar de a incorporação de tanino na solução de boro ser utilizada para mitigar o problema, os testes demonstraram que quando o bambu é exposto a ambientes externos, a lixiviação ainda persiste, sendo sugeridos, portanto, estudos que visem a solucionar a questão. Desta forma, com base nos resultados extraídos dos trabalhos selecionados para a RSL, o tratamento com NMA se mostrou mais eficiente entre os demais para a modificação do bambu destinado à utilização na construção civil. Todavia, sugere-se a realização de pesquisas que investiguem a tração, o cisalhamento e a estabilidade dimensional dos bambus submetidos a este tratamento, uma vez que os estudos encontrados com a revisão não analisaram estas propriedades. Ressalta-se que os dados extraídos pela RSL foram insuficientes para investigar a influência da espécie na alteração das propriedades físicas e mecânicas com o uso de tratamentos químicos, sendo recomendados estudos que façam esta análise.

Palavras-chave: Material renovável. Durabilidade. Tratamento preservativo. Propriedades físicas e mecânicas.

ABSTRACT

The use of conventional building materials is responsible for generating high energy consumption, environmental impacts, and high costs. So, the quest for renewable materials that present good resistance and low cost, is constant among professionals and researchers in the field. Due to its excellent physical and mechanical characteristics, bamboo is an ideal material to be used in civil construction in place of non-renewable materials. However, because it is susceptible to moisture and subject to attack of fungi and insects, bamboo needs a preservative treatment process to increase its durability and enable its use as a building material. There are different kinds of treatment, such as maturation, immersion in water, smoking and heat treatments, but those that make use of chemical products guarantee higher durability, being more suitable for application in bamboos that will be used for construction. Several studies aim to evaluate and compare the performance of chemical treatments for different bamboo species. This research has the purpose of carrying out a systematic literature review (SLR), to summarize the evidence found regarding the influence of chemical treatments on the physical and mechanical properties of bamboo. Four databases have been used as search tools: Science Direct, Scopus, Periódicos Capes and Engineering Village. The PRISMA method and StArt software were used for the implementation of the review protocol, in which the search strings, the selection criteria and the strategy for data extraction were defined. The synthesis of data obtained was elaborated through the building of graphs and tables which present the treatment method, the chemical, the bamboo species and the physical and mechanical properties analyzed in each study. The results showed that chemical treatments led to an improvement in the physical and mechanical properties of bamboo. It was found that treatments with paraffin wax + stearic acid, vinyl acetate + methyl methacrylate, and citric acid were more efficient than the others for the improvement of dimensional stability, however, bamboos treated with these products presented inferior results regarding the mechanical strength. The studies revealed that modification with citric acid leads to a reduction in flexural strength. On the other hand, the treatment with N-methylol acrylamide (NMA) stood out regarding the improvement of the bamboo mechanical performance, and treatments with boric acid + borax (DOT) and TH + DOT, also showed good results. However, it has been identified that boron is susceptible to leaching, and that although the incorporation of tannin in the boron solution is used to mitigate the problem, tests have shown that when bamboo is exposed to outdoor environments, leaching persists, and it is suggested, therefore, studies aimed at solving the issue. Thus, based on the results extracted from the works selected for the SLR, the treatment with NMA proved to be the most efficient among the others for the bamboo modification for use in construction. However, it is suggested that research should be carried out to investigate the tensile, shear and dimensional stability of bamboos subjected to this treatment, since the studies found with this review did not analyze these properties. It is noteworthy that the data extracted by the SLR were insufficient to investigate the influence of the species on the alteration of physical and mechanical properties with the use of chemical treatments, and it is recommended that studies should be developed to perform this analysis.

Keywords: Renewable material. Durability. Preservative treatments. Physical and mechanical properties.

INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento populacional associado à expansão urbana traz como consequência o aumento da demanda da construção civil, a qual é responsável pela geração de impactos ambientais. O setor da construção emitiu 5,7 bilhões de toneladas de gás carbônico no mundo durante o ano de 2009, representando 23% do total de CO₂ emitido pelas atividades econômicas globais (GAUSS, 2020). Este impacto está relacionado ao processo de fabricação dos materiais de construção mais utilizados, principalmente do cimento, o qual se responsabiliza por cerca de 7% das emissões mundiais de gás carbônico (SNIC, 2019).

A emissão de gás carbônico na produção do cimento é ocasionada, principalmente, pela descarbonatação da rocha calcária durante o processo de calcinação, em que o calcário é convertido em óxido de cálcio, formando o clínquer. Além disto, a geração de energia térmica para os fornos do clínquer envolve a queima de combustíveis fósseis. Normalmente, 60% a 70% das emissões de CO₂ são provenientes da calcinação e 30% a 40% decorrem da queima dos combustíveis fósseis (SNIC, 2019).

Outro fator que faz com que a construção civil contribua significativamente para a degradação do meio ambiente é o descarte inadequado dos resíduos de construção. De acordo com o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (IPEA, 2012), é estimado que 50% a 70% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil sejam provenientes da construção. Segundo Quaglio e Arana (2020), os resíduos gerados pelos diferentes materiais usados na construção, como plástico, madeira e gesso, são dispostos de maneira inadequada, sem a devida preocupação com os prejuízos causados ao meio ambiente.

Desta forma, a busca pela utilização de materiais renováveis em substituição aos convencionais tornou-se recorrente e essencial para a preservação ambiental e a garantia da qualidade de vida para as futuras gerações.

Neste contexto, o uso do bambu como material de construção apresenta diversas vantagens, como baixo custo, boa resistência e biodegradabilidade (MENG, 2015), além de sua facilidade de adaptação às condições ambientais e climáticas (ROSALINO, 2019), sendo um material renovável que apresenta uma excelente alternativa sustentável.

O bambu é uma planta da família das gramíneas, constituído por um sistema de raízes, denominado rizoma, através do qual ocorre o crescimento dos colmos, que são compostos por

nós, separados por tubos ocos que têm células na direção axial, nomeados de entrenós. No interior dos nós, desenvolve-se o diafragma e, em seu exterior, são formados ramos (CHAOWANA, WISADSATORN, CHAOWANA, 2021).

Os colmos têm cavidade cilíndrica e superfície cerosa, que conferem proteção para retenção da umidade interna (BUI; GRILLET; TRAN, 2017). Seu tamanho pode alcançar 30 metros de altura e 30 centímetros de diâmetro para as espécies denominadas gigantes (SILVA; SILVA, 2020), apresentando a maior taxa de crescimento entre os vegetais, pois podem crescer cerca de 60 cm por dia (BUI; GRILLET; TRAN, 2017).

Em sua camada mais externa, os colmos são compostos por uma parede de células epidérmicas no sentido axial. Segundo Ming, Jye e Ahmad (2017), o interior destas células é constituído por fibras de celulose, que são responsáveis por conferir as características de rigidez e resistência à tração e à flexão do bambu. Já o interior dos colmos é composto por celulose e lignina, levando à atração de fungos e insetos.

A densidade das fibras de celulose é diferente da parte interna para a externa, e esta distribuição desigual afeta diretamente as propriedades mecânicas do bambu (MING; JYE; AHMAD, 2017). O número de feixes vasculares é menor na extremidade do bambu, contudo, sua densidade é maior, por isto, considera-se o bambu como um tipo de Material de Classificação Funcional (FGM), que tem propriedades mecânicas não homogêneas (CHEN et al., 2022).

O nascimento dos brotos de bambu ocorre durante as temporadas de chuva, por isto, esta gramínea se desenvolve preferencialmente em climas tropicais e subtropicais, algumas espécies, em climas temperados (ROSALINO, 2019). Outra característica desta planta é que, além de sua capacidade de armazenar em suas fibras o CO₂, que é liberado na atmosfera, o bambu produz 35% mais oxigênio do que outras árvores de diâmetro comparável (LAVERDE, 2014). Além disto, a colheita do seu colmo não ocasiona a morte do rizoma, assim, após o corte, a planta cresce novamente, não necessitando de replantio, contribuindo para a diminuição do desmatamento de florestas.

Historicamente, o bambu é conhecido por fornecer alimentos, abrigo, ferramentas e muitos outros itens (CARBONARI et al., 2017). Entre suas diferentes aplicabilidades, o bambu pode ser utilizado na fabricação de compósitos, como madeira compensada, madeira laminada, escribas e polímeros reforçados com fibra de bambu, produzindo materiais usados em móveis, pisos e até mesmo em estruturas (YU; HUANG; YU, 2014). Segundo Sharma et al. (2015), em

razão das suas excelentes características mecânicas, o bambu é uma matéria prima que tem potencial para ser usado como um material estrutural.

Entretanto, assim como a madeira, o bambu tem sensibilidade à umidade, o que pode causar inchaços e encolhimentos do material (BUI; GRILLET; TRAN, 2017). Além disto, pela presença abundante de nutrientes, como o amido e a proteína, a maioria das espécies de bambu é suscetível ao ataque de fungos e insetos (ZHANG et al., 2017), levando à perda de suas propriedades mecânicas e à redução de sua durabilidade. Desta forma, faz-se necessária a realização de tratamentos preservativos adequados nos colmos de bambu para melhorar sua vida útil, viabilizando sua utilização na construção civil.

Existem diferentes tipos de tratamentos que podem ser aplicados para aumentar a durabilidade em colmos de bambu, sendo divididos em tratamentos tradicionais ou químicos. Como tratamento tradicional, ou seja, sem a adição de produtos químicos, utilizam-se a maturação, imersão em água, defumação e tratamentos térmicos. Entretanto, os métodos de tratamentos preservativos feitos com produtos químicos garantem uma maior durabilidade do que os tradicionais, sendo mais indicados para a utilização na construção civil.

Os tratamentos químicos convencionais, utilizados em madeiras, apresentam bom desempenho, como o CCA (arseniato de cobre cromatado), pentaclorofenol e outros, contudo são desenvolvidos à base de metais pesados e elementos tóxicos (GAUSS, 2020). Os tratamentos à base de CCB (borato de cobre cromatado) são considerados menos nocivos à saúde e ao meio ambiente, se comparados aos tratamentos que contêm arsênio (TIBURTINO, 2015), porém ainda fazem uso de metais pesados. Portanto, outras soluções estão sendo investigadas para a aplicação de tratamentos preservativos em bambu que utilizam produtos químicos que não sejam tóxicos à saúde e ao meio ambiente.

Neste contexto, o boro é um produto que tem a capacidade de melhorar a resistência à degradação do bambu sem causar danos ao meio ambiente, e, vem sendo aplicado, em substituição aos produtos tóxicos, no tratamento do bambu. Entretanto, na presença de água, o boro está sujeito à lixiviação, o que faz com que os bambus tratados com esta substância fiquem restritos ao uso em ambientes internos (GAUSS, 2020). Assim, a adição de tanino e de hexamina nas soluções de compostos de boro foi estudada por Gauss et al. (2021) como alternativa viável para solucionar o problema da lixiviação.

Diversas pesquisas foram conduzidas nos últimos anos para verificar a eficiência de diferentes substâncias para o tratamento do bambu, como os ácidos policarboxílicos, estudados

por Dong et al. (2021), o acetato de vinila e a polimerização do metacrilato de metila, investigados por Huang et al. (2019), a polimerização de N-metilol de acrilamida (NMA), pesquisada por Sun et al. (2023), entre outros estudos que visaram a buscar uma alternativa que associasse segurança, economia e sustentabilidade.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de uma revisão das pesquisas que analisam a eficiência dos diferentes tipos de tratamentos preservativos de colmos de bambu, estudados recentemente, visando a verificar as características e as limitações de cada produto químico, a fim de auxiliar na escolha do procedimento mais adequado para diferentes situações. E desta forma, incentivar o uso deste material no setor da construção civil, diminuindo a exploração de materiais convencionais, como madeira, ferro, concreto e plástico, contribuindo para a proteção do meio ambiente.

PROBLEMA

No Brasil, uma parcela considerável da população não tem acesso à moradia. Segundo dados emitidos pela Fundação João Pinheiro, o déficit habitacional no país foi calculado em 5,8 milhões em 2019. Para diminuir este índice, o governo tem implementado programas governamentais, objetivando oferecer domicílio e condições mínimas de qualidade de vida a todos os brasileiros.

Para viabilizar a construção destas habitações, é necessário um alto consumo de materiais de construção civil, os quais, conforme citado anteriormente, produzem um elevado índice de degradação ambiental, desde o seu processo de fabricação até o descarte dos resíduos gerados. De acordo com Tormen et al. (2020), o setor da construção civil consome uma grande quantidade de recursos naturais, sendo responsáveis pela poluição da água e do ar, bem como pelo esgotamento de água e energia.

Diante deste cenário, os profissionais e pesquisadores da área de engenharia estão em busca de materiais ecológicos visando a encontrar alternativas sustentáveis e de baixo custo. Assim, o bambu apresenta-se como uma solução ideal pelas suas características de resistência, sustentabilidade e economia.

Há séculos, o uso do bambu na construção civil é explorado em diversos países que estão em desenvolvimento, pelo seu baixo custo e pela facilidade de obtenção (BARBOZA;

BARBIRATO; SILVA, 2008). Em países como a China, Índia, Tailândia e Japão, o bambu está sendo cada vez mais utilizado como material estrutural em construções modernas, em razão das suas propriedades originais (SKURATOV et al., 2021).

Na América, há os exemplos da Colômbia, Equador e Costa Rica, onde foram utilizados bambus da espécie *Guada angustifolia* para o desenvolvimento de importantes projetos estruturais, sendo que na Colômbia tais projetos foram destinados à construção de casas de habitação popular (ARENAS; ARENAS, 2022).

No Brasil, é possível encontrar algumas edificações em que o bambu foi utilizado como material de construção, principalmente nas regiões norte e nordeste do país. Um exemplo de habitação de interesse social feita com o uso do bambu pode ser observado na cidade de Maceió, Alagoas, onde o material foi empregado em elementos de cobertura e painéis de vedação (BARBOZA; BARBIRATO; SILVA, 2008).

Existem diversas espécies de bambu no território brasileiro. Segundo Gauss (2020), em razão do clima favorável para o cultivo da planta, o Brasil tem grande potencial para utilizar o bambu como material de engenharia, sendo encontradas com abundância no país espécies que apresentam eficiência para aplicação na construção civil, incluindo *Dendrocalamus asper*, *Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys edulis*, *Bambusa vulgaris*, *Bmabusa tuloides* e *Guada angustifolia* (GAUSS, 2020).

Apesar disto, em função da falta de informação sobre o cultivo e tratamento adequado das varas, a quantidade de fornecedores do material pronto para uso na construção e movelaria ainda é muito baixa, e a maioria dos bambus a serem destinados para estes fins precisam ser importados de outros países como Índia e China, aumentando os custos com transporte. Além do mais, a deficiência técnica relacionada ao processo construtivo com o uso do bambu também leva ao aumento dos custos e à redução da durabilidade das construções, restringindo a utilização deste vegetal em substituição aos materiais geradores de impactos ambientais.

Ademais, pela sua capacidade de absorver ou de perder água para o meio ambiente e pela sua sensibilidade à ação de agentes degradantes, o colmo do bambu necessita passar por tratamentos químicos antes de ser utilizado como material de construção. Sendo que, de acordo com Gauss et al. (2021), o bambu apresenta dificuldade para absorver as soluções químicas, o que faz com que seu tratamento seja mais complexo em comparação com a madeira. Segundo os mesmos autores, acredita-se que o motivo desta baixa absorção esteja associado à estrutura anatômica do bambu. Isto significa que, por ser composto principalmente por fibras longas e

densas, que têm menos espaços vazios entre as células em comparação com a madeira, o bambu tem menor porosidade, dificultando a absorção das soluções químicas.

Sendo assim, vários estudos acerca de tratamentos preservativos aplicados ao bambu vêm sendo desenvolvidos nos últimos anos, tendo sido identificada a necessidade de fazer uma sintetização, agrupamento e análise das informações difundidas nestes estudos, verificando a eficiência de cada produto investigado. E assim auxiliar os pesquisadores da área no desenvolvimento de novas pesquisas e incentivar a produção do bambu para ser utilizado como material de construção.

HIPÓTESE

O tratamento químico utilizando compostos de boro com adição de tanino e hexamina se sobressai aos demais tratamentos analisados no que diz respeito à melhoria das propriedades físicas e mecânicas do bambu, sendo o mais adequado para a aplicação em colmos de bambu destinados à construção civil.

OBJETIVOS

Realizar uma revisão sistemática da literatura sobre os diferentes tipos de tratamentos químicos de colmos de bambu para investigar o estado da arte da temática e verificar o tratamento mais adequado para a utilização na construção civil.

Os objetivos específicos são:

- Identificar os métodos de tratamentos e seus ingredientes químicos ativos aplicados em colmos de bambu destinados ao uso na construção civil;
- Verificar a influência de cada tratamento químico nas propriedades físicas do bambu;
- Verificar a influência de cada tratamento químico nas propriedades mecânicas do bambu; e
- Examinar se há diferença significativa entre as espécies de bambu em relação à melhora das propriedades físicas e mecânicas do material após a aplicação dos tratamentos químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARENAS, N. C. dos S.; ARENAS, M. V. dos S. **Casas de bambu, como uma solução de políticas públicas habitacional para região Amazônica**. Conjecturas, Porto Velho, v.22, n.1, 2022.
- BARBOZA, A.; BARBIRATO, J.; SILVA, M. **Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n.1, p. 115-129, 2008.
- BUI, Q. B.; GRILLET, A. C.; TRAN, H.D. **A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance**. Sustainability, Chambéry, v.9, 2017.
- CARBONARI, G. et al. **Bambu – O aço vegetal**. Mix Sustentável, Londrina, v. 3, n. 1, 2017.
- CHAOWANA, K.; WISADSATORN, S.; CHAOWANA, P. **Bamboo as a Sustainable Building Material—Culm Characteristics and Properties**. Sustainability, v. 13, n. 13, Julho, 2021.
- CHEN, Z. et al. **State-of-the-art review on research and application of original bamboo-based composite components in structural engineering**. Structures, v.35, p. 1010-1029, 2022.
- DONG, Y. *et al.* **Evaluation of anti-mold, termite resistance and physical-mechanical properties of bamboo cross-linking modified by polycarboxylic acids**. Construction and Building Materials, 2021.
- GAUSS, C. et al. **Assessment of *Dendrocalamus asper* (Schult and Schult f.) (Poaceae) bamboo treated with tannin-boron preservatives**. Construction and Building Materials, 282, New Zeland, 2021.
- GAUSS, C. **Preservative treatment and chemical modification of bamboo for structural purposes**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Faculdade de Zootecnica e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.
- HUANG, S. *et al.* **Combined Chemical Modification of Bamboo Material Prepared Using Vinyl Acetate and Methyl Methacrylate: Dimensional Stability, Chemical Structure, and Dynamic Mechanical Properties**. Polymers, 2019.
- IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil – Relatório de Pesquisa**, 2012. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7669/1/RP_Diagn%C3%B3stico_2012.pdf> Acesso em: 15 de dezembro de 2022.
- LAVERDE, M. C. **Bambu**, Asia – Page One Publishing Pte Ltd, 2014.
- MENG, F. **Surface chemical composition analysis of heat-treated bamboo**. Elsevier, PR China, 2015.
- MING, C. Y. T.; JYE, W. K.; AHMAD, H. A. I. **Mechanical properties of bamboo and bamboo composites: a review**. Journal of Advanced Research in Materials Science, 2017.

QUAGLIO, R. S.; ARANA, A. R. A. **Diagnóstico da gestão de resíduos da construção civil a partir da leitura da paisagem urbana**. Sociedade & Natureza. Uberlândia, 2020.

ROSALINO, F. **Sistema de Cobertura com Feixe de *Bambusa tuloides***. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; BOCK, M.; RAMAGE, M. **Engineered bamboo for structural applications**. Construction and Building Materials. Los Angeles, 2015.

SILVA, G. A.; SILVA, J. V. M. **Sistema Construtivo em Bambu – Calfitice**. XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2020.

SKURATOV, S.; VOLKOVSKAYA, G. D.; YANUKYAN E.; BEILIN, M. **Bamboo as a Unique Ecological Building Material of the XXI Century: Bamboo Description, Bamboo Physical and Mechanical Properties Studies**. Materials Science Forum, Suíça, v. 1043, p. 149-154, 2021.

SNIC.ROADMAP tecnológico do cimento: **Potencial de redução das emissões de carbono da indústria do cimento brasileira até 2050, coordenado por Gonzalo Visedo e Marcelo Pecchio**, 2019.

SUN, *et al.* **In situ polymerization of N-methylol acrylamide (NMA) for bamboo anti-mold modification**. Construction and Building Materials, v. 363, 2023.

TIBURTINO, F. T. et al. **Tratamento Preservativo de Duas Espécies de Bambu por Imersão Prolongada e Boucherie Modificado**. Floresta e Ambiente, 22 (1), Espírito Santo, 2015.

TORMEN, A. F. **Estudos sobre alternativas de projeto para a minimização do impacto ambiental de edifícios em concreto armado**. Revista AIDS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v. 13, n. 1, p. 153-171, abr. 2020.

YU, Y.; HUANG, X; YU, W. **A novel process to improve yield and mechanical performance of bamboo fiber reinforced composite via mechanical treatments**. Composites: B 56, v. 36, p. 48-53, august 2014.

ZHANG, J. et al. **Antimicrobial Bamboo Materials Functionalized with ZnO and Graphene Oxide Nanocomposites**. Materials, 10(3), 239, 2017.

CAPÍTULO 1

(Normas de acordo com o periódico Ambiente Construído – ISSN: 1678-8621)

Tratamentos químicos de colmos de bambu para utilização na construção civil: uma revisão sistemática

Chemical treatments of bamboo culms for use in civil construction: a systematic review

RESUMO

O bambu é um material renovável que tem baixo custo e características físicas e mecânicas satisfatórias, o que faz com que ele seja ideal para utilização na construção civil, como uma alternativa sustentável. Entretanto, pela sua característica higroscópica, ele está sujeito ao ataque de agentes xilófagos, o que reduz sua durabilidade. Assim, para viabilizar o uso do bambu como material de construção, o tratamento preservativo é necessário. Existem diferentes tipos de tratamentos, porém os mais eficientes são os tratamentos químicos. Objetivou-se com esta pesquisa desenvolver uma revisão sistemática dos tratamentos químicos existentes, comparando sua influência nas propriedades físicas e mecânicas do bambu. Para o desenvolvimento da revisão, foram utilizados a ferramenta PRISMA e o software Start, por meio dos quais foram selecionados os estudos de interesse. Os resultados mostraram que os tratamentos com N-metilol de acrilamida (NMA), octaborato de sódio tetrahidratado (OST) e OST com adição de tanino e hexamina foram mais eficientes no aumento da resistência mecânica do bambu, tendo o NMA sido identificado como o mais apropriado para aplicação em bambus destinados à construção civil. Todavia, sugere-se a realização de pesquisas que analisem a tração, o cisalhamento e a estabilidade dimensional do bambu tratado com NMA.

Palavras-chave: Tratamento preservativo. Sustentabilidade. Propriedades físicas. Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Bamboo is a renewable material that has low cost and satisfactory physical and mechanical properties, which turn it ideal to be used in the civil construction, as a sustainability alternative. However, due to its hygroscopic properties, it is subject to xylophagous agent attack, which reduces its durability. Thus, for the bamboo to be used as a building material, preservative treatment is necessary. There are different kinds of treatment, but the chemical treatments are the most efficient. The objective of this research was to develop a systematic review of existing chemical treatments, comparing their influence on the physical and mechanical properties of bamboo. As a means of developing the systematic review, the PRISMA tool and the software Start were used, through which the selection of studies of interest was carried out. The results showed that treatments with N-methylol acrylamide (NMA), disodium octaborate tetrahydrate (DOT) and DOT with the addition of tannin and hexamine were more efficient in increasing the bamboo mechanical strength, and NMA was identified as the most suitable for application on bamboos intended for civil construction. However, it is suggested that research that analyzes the tensile, shear and dimensional stability of the NMA-treated bamboo be conducted.

Keyword: Preservative treatment. Sustainability. Physical Properties. Mechanical Properties.

1.1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais convencionais na construção civil, como o aço e o cimento, provoca um alto consumo de energia, geração de impactos ambientais e elevados custos financeiros. Desta forma, a escolha pelo uso de materiais renováveis de baixo custo, além de contribuir para a otimização energética e a economia, é uma alternativa essencial para o desenvolvimento da sustentabilidade e da manutenção de um ambiente saudável.

Em função de sua facilidade de cultivo, boa adaptação às condições climáticas, excelentes características físicas e mecânicas e alta capacidade de absorção do CO₂, o bambu tem se destacado como material ecológico a ser utilizado na construção civil em substituição aos materiais não renováveis. Apresentando diferentes aplicabilidades, os colmos de bambu podem ser empregados desde a fabricação de elementos arquitetônicos até a construção de grandes estruturas.

Classificado como uma gramínea, pertencente à subfamília *Bambusoideae*, o bambu é constituído por uma cavidade cilíndrica, chamada de colmo, o qual tem uma superfície cerosa, proporcionando uma camada protetora, que retém a umidade interna (BUI; GRILLETE; TRAN, 2017). O crescimento dos colmos se dá através de um conjunto de caules e raízes subterrâneos, denominado de rizoma, podendo alcançar uma altura de até 30 metros e diâmetro de até 30 centímetros para algumas espécies de bambu (SILVA; SILVA, 2020). Com uma taxa de crescimento muito alta, dependendo da espécie, a planta pode crescer até 600 milímetros por dia (BUI; GRILLET; TRAN, 2017). Além disto, após a colheita do colmo, as raízes subterrâneas continuam vivas, permitindo que o bambu cresça novamente, sem necessidade de replantio.

No entanto, da mesma maneira que outros materiais biológicos, o bambu é uma planta sensível à ação da umidade, o que faz com que ele absorva bastante água, levando à sua instabilidade dimensional, principalmente ao longo de sua direção principal, limitando sua aplicação (LIU et al., 2021). Ademais, o bambu está sujeito ao ataque de organismos xilófagos, como fungos, cupins e insetos, sendo o besouro *Dinoderus minutus*, chamado de caruncho-do-bambu, seu principal agente destrutivo (GAUSS; KADIVAR; SAVASTANO, 2019). Isto acontece devido à grande quantidade de amido, proteína, carboidratos e gordura que a planta reserva em seu interior (PIAO et al., 2022). Desta forma, para evitar que estas características causem redução na qualidade do produto e perda de suas propriedades mecânicas, é necessário que os colmos de bambu passem por um processo de tratamento preservativo antes de sua aplicação como material de construção.

Atualmente, são variados os tipos de tratamentos existentes que visam a aumentar a durabilidade das varas de bambu, sendo aqueles que fazem uso de conservantes químicos, mais indicados para a aplicação do vegetal na construção civil. Este tipo de tratamento tem diferentes métodos, incluindo revestimento, substituição de seiva, processo de difusão, boucherie, imersão em tanque aberto, entre outros, sendo usados diversos produtos químicos (SINGHA; BORAH, 2017). Todavia, o bambu tem maior dificuldade de tratamento em comparação com a madeira, em razão da sua baixa absorção de soluções, possivelmente causada por sua estrutura anatômica e menor porosidade (GAUSS et al. 2021). Além disto, o uso do tratamento químico pode danificar as propriedades mecânicas do material (GAUSS; KADIVAR; SAVASTANO, 2019), inviabilizando sua utilização como elemento estrutural.

Há numerosas pesquisas que avaliam o desempenho dos diferentes métodos de tratamentos pela verificação da sua influência nas propriedades físicas e mecânicas do bambu. Sendo assim, uma revisão bibliográfica detalhada do tema é fundamental para auxiliar os produtores na escolha do melhor método a ser aplicado e, assim, incentivar a utilização deste material sustentável na construção civil em substituição àqueles que provocam degradação ao meio ambiente.

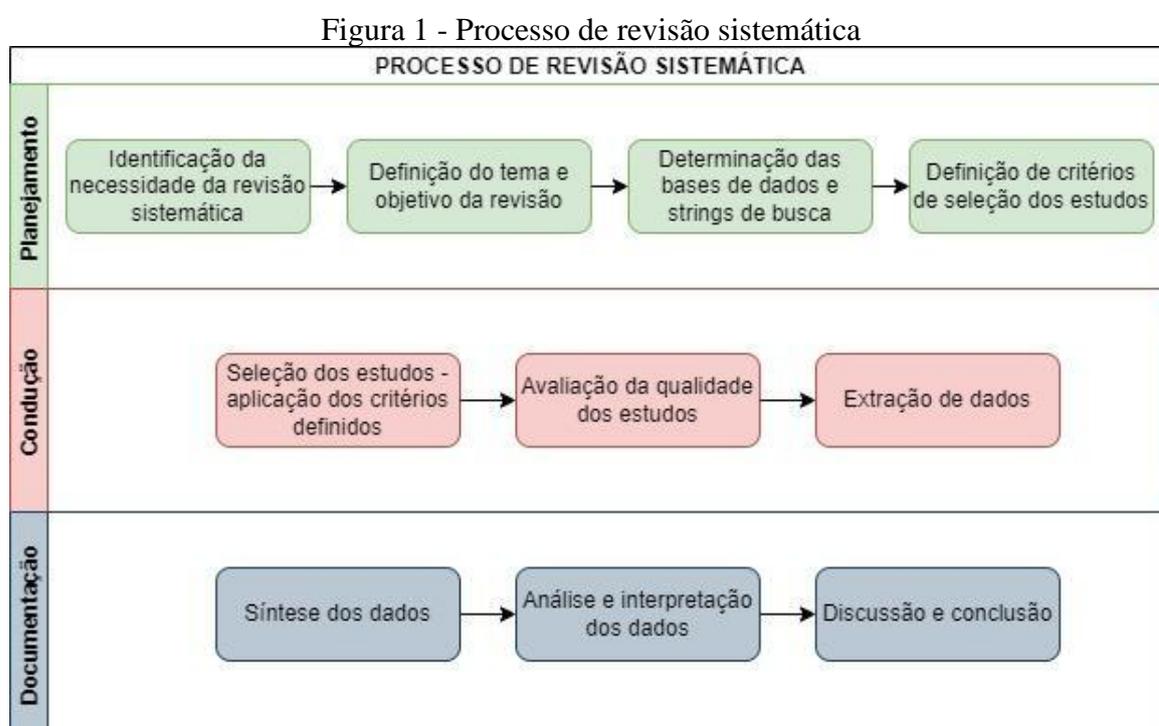
Neste contexto, a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é uma ferramenta ideal para resumir as evidências existentes em relação ao assunto, obtendo resultados confiáveis e consistentes.

Esta espécie de revisão teve sua origem no ramo da Medicina e, por dispor de uma metodologia rigorosa, desde então diferentes áreas do conhecimento buscam implementar suas condutas para o desenvolvimento de revisões bibliográficas (CAETANO, 2017).

Assim, este trabalho tem como objetivo uma revisão sistemática da literatura sobre as diferentes técnicas de tratamentos químicos de colmos de bambu destinados à construção civil para verificar a existência de tratamentos eficientes que causem melhoria nas propriedades físicas e mecânicas do material.

1.2 MÉTODO

Para o desenvolvimento desta pesquisa, utilizou-se a metodologia da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), a qual é composta por um processo documentado que permite a reprodução da experiência por outros pesquisadores. Este processo é constituído por três fases (Figura 1).



Fonte: Autora (2024).

1.2.1 Planejamento

Esta fase tem início com uma análise exploratória em estudos, a qual é responsável por fornecer subsídios para planejar a revisão sistemática, possibilitando a identificação da necessidade de se fazer a revisão, a definição do tema e a delimitação dos objetivos.

O planejamento da revisão sistemática consiste no desenvolvimento do protocolo de revisão, que foi desenvolvido pela ferramenta PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*). Esta ferramenta consiste em uma série de itens que têm como objetivo especificar o método que será utilizado para a execução das demais etapas, iniciando pela elaboração da pergunta central da pesquisa, determinação das bases de dados que serão exploradas, definição das palavras-chave e dos critérios que serão empregados para a seleção dos estudos.

Para a elaboração do protocolo, utilizou-se o StArt (*State of the Art through Systematic Review*), um *software* gratuito, disponibilizado pelo LaPES (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

Através de pesquisas realizadas em artigos de revisão sistemática que abordam temas de sustentabilidade e construção civil, foram verificadas as bases de dados mais consolidadas na área e selecionadas para estratégia de busca aquelas que, além de serem mais recorrentes nas pesquisas, abrangessem um maior número de resultados: Science Direct, Scopus, Periódicos Capes e Engineering Village.

A construção das *strings* de busca foi feita na língua inglesa, a partir da seguinte pergunta central: Qual a influência dos diferentes tipos de tratamentos químicos de bambu nas propriedades físicas e mecânicas do material?

Após algumas tentativas de combinação das palavras-chave definidas pela pergunta central, verificou-se que a combinação de *strings* mais adequada para atender aos objetivos desta revisão foi:

Bamboo AND (Treatment OR Treatability) AND (Preservative OR Preservation) AND (Mechanical OR Physical) AND (Properties OR Property).

Com base na pergunta central, também foram definidos os critérios de inclusão e exclusão (Tabela 1).

Critérios de inclusão	Critérios de exclusão
a) Trata-se de um artigo científico	a) O artigo não está disponível gratuitamente
b) Apresenta um método de tratamento químico para preservação do bambu	b) O artigo possui Qualis abaixo de B1
c) Realiza análise de pelo menos uma propriedade física ou mecânica do bambu	c) Trata-se de um artigo de revisão

Fonte: Autora (2024).

Para a aplicação do critério de inclusão “c)”, foram consideradas como propriedades físicas e mecânicas do bambu as explanadas pela NBR 16828-2 (ABNT, 2020), assim como apresentado na Tabela 2, ou propriedades similares às apresentadas.

Propriedades físicas	1) Teor de umidade
	2) Massa volumétrica
	3) Retração
Propriedades mecânicas	1) Resistência e módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras
	2) Resistência e módulo de elasticidade à flexão do colmo
	3) Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
	4) Resistência e módulo de elasticidade à tração paralela às fibras

Fonte: Autora (2024).

1.2.2 Condução

De posse dos documentos obtidos pelas pesquisas nas bases de dados, foi iniciada a condução da revisão. Primeiramente, foram excluídos trabalhos publicados em data anterior ao ano de

2017 e que não foram desenvolvidos na língua inglesa ou portuguesa. Posteriormente, foram feitas leitura e análise dos títulos e resumos, tendo sido feita a exclusão dos estudos duplicados e daqueles que não apresentaram relevância para a presente pesquisa.

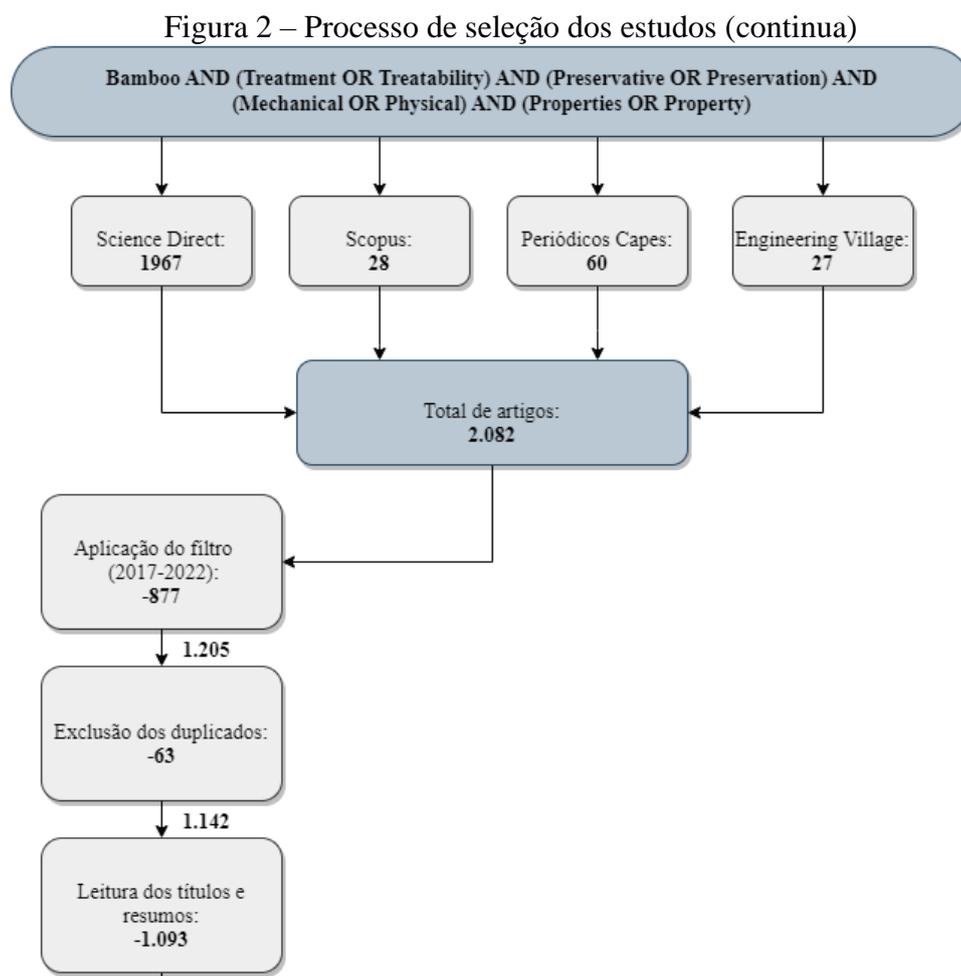
1.2.2.1 Seleção dos estudos

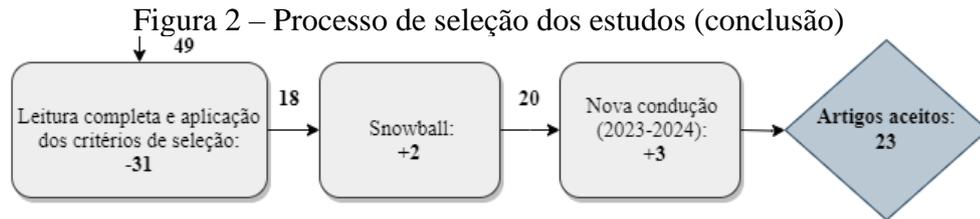
Após a análise dos títulos e resumos, foi feita a leitura completa dos trabalhos que não foram excluídos, e empregados os critérios de seleção definidos no protocolo (Tabela 1). Assim, os artigos que atenderam a todos os critérios de inclusão e a nenhum critério de exclusão foram selecionados, obtendo-se um total de 18 trabalhos.

Para aumentar a quantidade de artigos relevantes ao tema, buscando agregar mais pesquisas não encontradas nas bases de dados utilizadas, foi feito o método de amostragem, denominado *snowball sampling* (bola de neve), através do qual foi possível selecionar mais duas publicações. O processo consiste na leitura das referências de todos os artigos selecionados, com a finalidade de encontrar mais trabalhos de interesse para compor a revisão sistemática.

Além disso, tendo em vista o tempo de produção da revisão sistemática, ao final do processo foi feita uma nova condução filtrada para os anos de 2023 e 2024, no sentido de verificar se foram publicados novos estudos após a data das primeiras buscas, tendo sido encontrados mais três artigos.

Sendo assim, para a composição dos resultados deste estudo, foram selecionados 23 artigos. A Figura 2 ilustra o processo da seleção dos estudos.





Fonte: Autora (2024).

1.2.2.2 Extração de dados

Após a seleção dos 23 artigos na varredura da literatura, procedeu-se à extração dos dados por meio de planilha eletrônica para posteriormente fazer sua síntese. Primeiramente, foi feita uma análise da distribuição temporal das publicações dos artigos, dos periódicos em que foram publicados, dos principais pesquisadores do tema e país de coleta das amostras. Em seguida, foram levantadas as informações de interesse para cada estudo selecionado, quais sejam: produto e método utilizados para a aplicação do tratamento químico, espécie de bambu utilizado para a realização dos testes e propriedades físicas e mecânicas analisadas.

1.2.3 Documentação

A síntese dos dados extraídos dos artigos na etapa anterior foi feita pela construção de gráficos e tabelas, com o objetivo de apresentar a influência dos tipos de tratamentos químicos aplicados em cada artigo nas propriedades físicas e mecânicas do bambu. Posteriormente, procedeu-se à etapa de análise e discussão das informações coletadas para mostrar ao leitor de forma detalhada os assuntos que vêm sendo discutidos em publicações científicas a respeito do tema proposto nesta pesquisa.

Por fim, é parte integrante desta etapa a publicação deste artigo na revista “Ambiente Construído”, com a finalidade de permitir o acesso da revisão sistemática aos pesquisadores da área, servindo de auxílio na elaboração de novas pesquisas.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através dos 23 artigos selecionados para a revisão sistemática, foi feito um levantamento em relação ao periódico e ano em que foram publicados (Tabela 3). Notou-se que os trabalhos foram publicados em 13 periódicos diferentes, sendo a maioria das publicações feita na revista *Construction and Building Materials*. Em relação ao ano de publicação, é possível perceber que houve maior concentração de pesquisas nos anos de 2019 e 2021.

Tabela 3 - Relação dos artigos selecionados quanto ao ano e periódico (continua)

Periódicos	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
BioResources						1		1
Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects						1		1
Construction and Building Materials	1			1	6		1	9
Drvna Industrija			1					1
European journal of wood and wood products				1				1
Forests							1	1
Industrial Crops and Products			1		1			2
International Journal of Adhesion and Adhesives		1						1

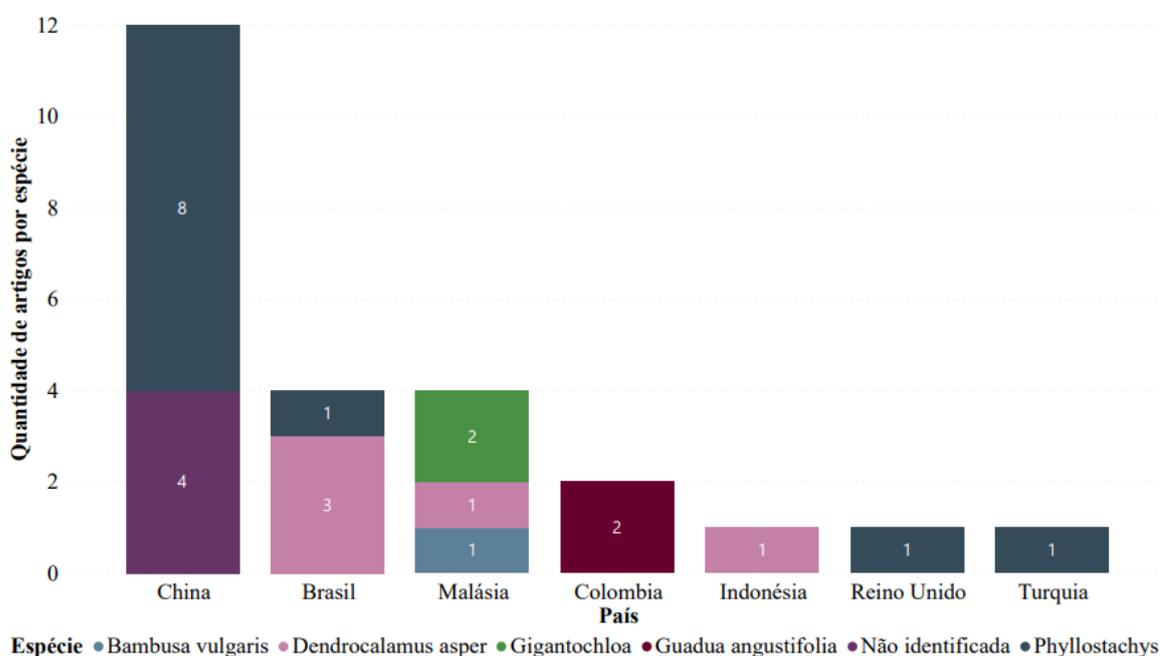
Tabela 3 - Relação dos artigos selecionados quanto ao ano e periódico (conclusão)

Periódicos	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology				1				1
Journal of Cleaner Production			1		1			2
Journal of Wood Science			1					1
Polymers			1					1
Royal Society Open Science						1		1
Total	1	1	5	3	8	3	2	23

Fonte: Autora (2024).

Em uma análise feita em relação aos autores de cada publicação, dois autores se destacaram: Christian Gauss e Na Su, tendo cada um deles, respectivamente, quatro e dois artigos publicados sobre a influência do tratamento químico nas propriedades físicas e/ou mecânicas do bambu. A Figura 3 mostra os países de origem das pesquisas selecionadas, relacionando-se com as espécies de bambu das amostras coletadas em cada trabalho. A China se revelou como o país que tem maior número de publicações referentes ao tema abordado neste trabalho, correspondendo a 52% do total de artigos selecionados, seguida pelo Brasil, com 17% das publicações. Em relação às espécies, destacaram-se as espécies *Phyllostachys* e *Dendrocalamus asper*.

Figura 3 - Relação dos artigos selecionados quanto ao país e espécie de bambu



Fonte: Autora (2024).

Para apresentar a análise e a sintetização das informações coletadas nos artigos selecionados, foi feito o levantamento dos tratamentos químicos empregados em cada estudo, bem como das propriedades físicas e mecânicas do bambu analisadas após a aplicação do tratamento, conforme relacionado nos tópicos 1.3.1 a 1.3.3.

1.3.1 Tratamentos químicos

A Tabela 4 apresenta o tratamento químico aplicado para a preservação do bambu em cada um dos 23 artigos selecionados, assim como as espécies das amostras de bambu utilizadas para a realização dos ensaios. Nota-se que o boro foi o ingrediente que mais se repetiu em estudos distintos e que a maioria dos trabalhos fez uso do método de impregnação a vácuo-pressão.

Tabela 4 - Tratamentos químicos e espécies de bambu empregados em cada artigo (continua)

Item	Referência	Espécie	Tratamento químico
1	Baharuddin et al. (2022)	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	Boro e borato de cobre cromatado (CCB) ^a
2	Dong et al. (2021)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Ácido cítrico (CA) e ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico (BTCA) ^a
3	Gauss, Kadivar e Savastano Jr. (2019)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Octaborato de sódio tetrahidratado (OST) ^a
4	Gauss et al. (2020)	<i>Phyllostachys edulis</i>	Octaborato de sódio tetrahidratado (OST) ^b e borato de cobre cromatado (CCB) ^a
5	Gauss et al. (2021a)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Soluções à base de Tanino/hexamina (TH) e octaborato de sódio tetrahidratado (OST) ^a
6	Gauss et al. (2021b)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Ácido cítrico (CA) e octaborato de sódio tetrahidratado (OST) ^a
7	Guo et al. (2019)	O estudo não relata a espécie utilizada	Ácido bórico e resina epóxi ^a
8	Handana, Surbakti e Karolina (2020)	<i>Dendrocalamus asper</i>	Solução de bórax ^b
9	Huang et al. (2019)	O estudo não relata a espécie utilizada	Acetato de vinila (VA) e polimerização de metacrilato de metila (MMA) ^a
10	Jiang et al. (2022)	<i>Phyllostachys iridescens</i>	Naftenato de cobre ^a
11	Li et al. (2020)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Solução de álcool furfurílico e catalisadores ácidos ^a
12	Liu et al. (2021)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Solução de álcool furfurílico e catalisadores ácidos ^b
13	Piao et al. (2022)	O estudo não relata a espécie utilizada	Compósitos à base de cera de parafina (P) e ácido esteárico (S) ^a
14	Sánchez, Morales e Caicedo (2017)	<i>Guadua angustifolia</i>	Resina poliuretânica vegetal extraída do óleo de higuierilha ^c
15	Sanchez-Echeverri et al. (2021)	<i>Guadua angustifolia</i>	Tratamento alcalino (NaOH e Na ₂ S) combinado com o refinamento mecânico (4.500 rotações) ^c
16	Shah et al. (2018)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Caramelização higrotérmica e branqueamento químico
17	Su et al. (2021a)	<i>Phyllostachys iridescens</i>	Soluções de colofônia e etanol com concentrações de 20% em peso ^a
18	Su et al. (2021b)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	
19	Sun et al. (2023)	<i>Phyllostachys heterocycle Mazel</i>	Polimerização de N-metilol de acrilamida (NMA) ^a

Tabela 4 - Tratamentos químicos e espécies de bambu empregados em cada artigo (conclusão)

Item	Referência	Espécie	Tratamento químico
20	Topaloglu (2019)	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	Borato de cobre cromatado (CCB), compostos quaternários alcalinos de cobre (ACQ), cobre e biocidas orgânicos (Tanalith-E) e ácido bórico + bórax ^a
21	Wang et al. (2021)	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Sistema mediado por lacase para fixação do fungicida timol ^b
22	Wu et al. (2019)	O estudo não relata a espécie utilizada	Cu-B-P (H ₃ BO ₄ , CuSO ₄ , H ₃ PO ₄ e água deionizada); e Si-Al (Al ₂ (SO ₄) ₃ e solução diluída de silicato de sódio) ^b
23	Yusof et al. (2023)	<i>Gigantochloa scortechinii</i> , <i>Gigantochloa levis</i> , <i>Dendrocalamus asper</i> e <i>Bambusa vulgaris</i>	Ácido bórico ^b

Legenda:

a - Método de impregnação a vácuo-pressão; **b** - Método de imersão; **c** - Método de moldagem manual e compactação por prensagem.

Fonte: Autora (2024).

1.3.1.1 Acetilação e polimerização

A acetilação é um método convencional de modificação química, em que grupos acetil (CH₃CO-) são introduzidos em um composto químico. Ao empregar este método para o tratamento de colmos de bambu, os grupos acetil reagem com os grupos hidroxila (-OH), ligados à celulose do bambu, propiciando uma melhora na estabilidade dimensional do bambu (HUANG et al., 2019).

Outro método eficaz para a modificação do bambu é a polimerização *in situ* de monômeros poliméricos, como o metacrilato de metila (MMA), que é insaturado no interior dos poros do bambu para a produção de compósitos poliméricos, diminuindo a absorção de água do material, protegendo-o do ataque por microrganismos (HUANG et al., 2019).

No trabalho desenvolvido por Huang et al. (2019) foi empregada a combinação das modificações químicas por meio da acetilação do acetato de vinila (VA) e da polimerização *in situ* do metacrilato de metila (MMA) em colmos de bambu. Os resultados mostraram que as amostras de bambu preparadas pela combinação destes dois tratamentos apresentaram melhor desempenho quanto à estabilidade dimensional e durabilidade do que as amostras sem tratamento ou tratadas somente com um dos reagentes.

Além do MMA, outro monômero utilizado para o tratamento do bambu é o N-metilol de acrilamida (NMA), formado por grupos N-metila (CH₃-N-) e vinil (CH₂=CH-). O grupo vinil contribui para que o grupo N-metila passe por uma reação de hidrólise, em que o hidrogênio é substituído por um grupo hidroxila, originando o N-metilol.

A modificação do bambu com NMA foi feita em duas etapas no estudo de Sun et al. (2023). A primeira etapa consistiu na imersão do material na solução de NMA, por meio do método de impregnação a vácuo-pressão. Já na segunda etapa, as amostras de bambu foram embaladas e aquecidas, possibilitando a polimerização *in situ*. Os autores identificaram que após o tratamento com concentrações de NMA acima de 6%, as propriedades antimofa e mecânicas do bambu foram significativamente melhoradas, concluindo que o tratamento é eficiente para ampliar a utilização do material (SUN et al., 2023).

1.3.1.2 Ácidos policarboxílicos

O uso de ácidos policarboxílicos (PCAs) para tratamentos de colmos de bambu vem sendo amplamente avaliado, por ser uma alternativa eficiente e com baixo impacto ambiental. Neste sentido, o ácido cítrico (CA) e o ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico (BTCA) são ácidos policarboxílicos que ganham destaque, uma vez que têm baixo custo e fácil disponibilidade (DONG et al., 2021).

Gauss et al. (2021b) fizeram o tratamento químico de vácuo-pressão com ácido cítrico em uma concentração de 10% no bambu *Dendrocalamus asper*, verificando que a utilização deste produto reduziu a absorção de água e o inchaço em espessura e largura do bambu. Apesar disso, segundo os mesmos autores, a modificação química com o ácido cítrico não ocasionou aumento significativo nas propriedades mecânicas de compressão e flexão do bambu, sendo ressaltado que se deve ter cautela ao utilizar o bambu tratado com este ácido em aplicações estruturais que estiverem submetidas a forças de tração e cisalhamento.

No estudo conduzido por Dong et al. (2021), foram utilizadas tiras de *Phyllostachys pubescens* (Bambu Moso), que foram imersas sob vácuo nas soluções de CA e BTCA nas concentrações de 7% e 5%, respectivamente. Ambas as soluções foram combinadas com hipofosfito de sódio, respectivamente, a 6,5% e a 4,6%. Além disso, as amostras tratadas apenas com água serviram como controle e foram rotuladas como grupo tratado termicamente. Posteriormente, todas as amostras foram lixiviadas com água trocada diariamente para remover os reagentes que não reagiram e depois secas a 105 °C até atingir peso constante.

Os resultados comprovam que o uso de ambos os ácidos (CA e BTCA) é indicado para o tratamento de colmos de bambu, tendo em vista que confirmam a reação química nos componentes de bambu na presença dos PCAs, propiciando melhoria na propriedade antimofa do material e alta mortalidade de cupins com baixas perdas de massa (DONG et al. 2021).

Em comparação com a amostra não tratada, os PCAs causaram ligeiro aumento no módulo de elasticidade e na resistência à compressão, tendo sido verificada redução no módulo de ruptura após o tratamento (DONG et al., 2021).

1.3.1.3 Furfurilação em massa

A furfurilação em massa é um método utilizado para a modificação da madeira mediante impregnação com álcool furfurílico (FA) e catalisadores ácidos. Neste método, após a impregnação do FA, a madeira passa pelo processo de polimerização in situ sob altas temperaturas, dando origem a um compósito madeira/polímero, denominado “madeira furfurilada”, que tem propriedades mecânicas aprimoradas em relação à madeira não tratada, com melhor resistência à degradação biológica e ótima estabilidade dimensional (LI et al. 2020).

Este tratamento aplicado a tiras maduras de bambu *Phyllostachys pubescens* foi demonstrado por Li et al. (2020) e Liu et al. 2021, (2021), que estudaram a furfurilação superficial para o bambu. Nestes estudos, foram analisadas soluções com diferentes concentrações de álcool furfurílico (15%, 30%, 50% e 70%), 2% de agente tampão (borato de sódio) e 1,75% de catalisador (ácido oxálico e ácido cítrico). O borato de sódio foi aplicado para que as soluções tivessem o pH ajustado na faixa de 3 a 4 (LI et al., 2020).

Descobriu-se que o bambu modificado por este procedimento é altamente resistente a mofo e exibiu forte resistência a fungos apodrecedores e a cupins (LI et al., 2020). Segundo Li et al. (2020), as propriedades mecânicas do bambu furfurilado foram moderadamente melhoradas em baixas concentrações de FA e reduzidas para altas concentrações do produto. Já Liu et al. (2021) concluíram em seu estudo que a estabilidade dimensional e a durabilidade aumentaram após o tratamento e que houve ligeira redução na propriedades de compressão.

1.3.1.4 Colofônia

A colofônia é uma resina natural de baixo peso molecular, constituída, principalmente, por ácido resinoso, substância com característica altamente hidrofóbica (SU et al., 2021a). A resina é usada frequentemente para o tratamento da madeira, objetivando a melhora de suas propriedades físicas e mecânicas, utilizando o método de impregnação por pressão a vácuo (DONG et al., 2016).

A utilização da colofônia para o tratamento de bambu foi investigada por Su et al. (2021a), com o objetivo de melhorar a hidrofobicidade do bambu *Phyllostachys pubescens*. Em seu estudo, Su et al. (2021a) selecionaram amostras de colmos de bambu que foram imersas em soluções de colofônia com etanol, utilizando o método vácuo-pressão em temperatura ambiente. Conforme o tempo de imersão aumentava, a taxa de retenção da resina ia aumentando rapidamente, tendo se estabilizado após 4 horas de tratamento (SU et al., 2021a).

Ao final do tratamento com colofônia, as amostras de bambu apresentaram uma redução na absorção de água e no coeficiente de inchaço. Ademais, a resina colofônia formou uma película contínua e uniforme na superfície do bambu, desta forma, os feixes vasculares (conjunto de fibras, vasos e condutores de seiva) e as células parenquimáticas foram cobertos, impedindo a passagem de água no bambu (SU et al., 2021a). Contudo, segundo os autores ainda são necessários mais estudos para que sejam avaliadas a estabilidade ambiental e a resistência às intempéries do bambu tratado com colofônia (SU et al., 2021a).

1.3.1.5 Boro e Tanino

O tratamento químico com o uso de produtos à base de boro e tanino vem sendo investigado como uma alternativa sustentável e viável para a melhoria da resistência à degradação da madeira e a diminuição do impacto ambiental, uma vez que estes produtos são considerados menos perigosos em relação àqueles usualmente utilizados.

Yusof et al. (2023) observaram influência do tratamento preservativo com ácido bórico nas propriedades físicas e mecânicas de tiras de bambu de quatro espécies distintas (*Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris*, *Gigantochloa scortechinii* e *Gigantochloa levis*), concluindo que o tratamento ofereceu vários benefícios ao material, como redução da absorção de água e inchaço e aumento do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) para todas as espécies.

Já no estudo de Handana, Surbakti e Karolina (2020), foi observado que o borato de sódio deca-hidratado (bórax) aplicado pelo método da imersão, melhorou as propriedades mecânicas do bambu *Dendrocalamus asper*, sendo as concentrações de 30% a 50% do produto consideradas suficientes para obter um aumento significativo na resistência à compressão, resistência à tração e resistência à flexão.

Gauss et. al. (2021b) conduziram um estudo comparando o efeito de três tipos de tratamento químico nas propriedades físicas e mecânicas do bambu *Dendrocalamus asper*, o primeiro com ácido cítrico, o segundo com compostos de boro e o terceiro com a combinação destes dois tratamentos. Para o tratamento com compostos de boro, foi utilizada a concentração de 5% de octaborato de sódio tetra-hidratado (OST), formado por uma combinação de ácido bórico e bórax, na proporção de 1:1,54.

Os autores deduziram que as amostras de bambu tratadas somente com OST apresentaram o melhor desempenho mecânico em relação aos demais tratamentos, com aumento no MOR, MOE, resistência à compressão e resistência à tração (GAUSS et al., 2021b).

Contudo, quando exposto ao ambiente externo, o boro está sujeito à lixiviação, sendo assim, o tanino combinado ao boro está sendo usado para diminuir este processo (GAUSS et al., 2021a). Segundo Thevenon, Pizzi e Haluk (1998 apud LI et al., 2019, p. 46), “a ligação dos taninos às proteínas pode fixar melhor o ácido bórico ou, pelo menos, retardar significativamente sua lixiviação”.

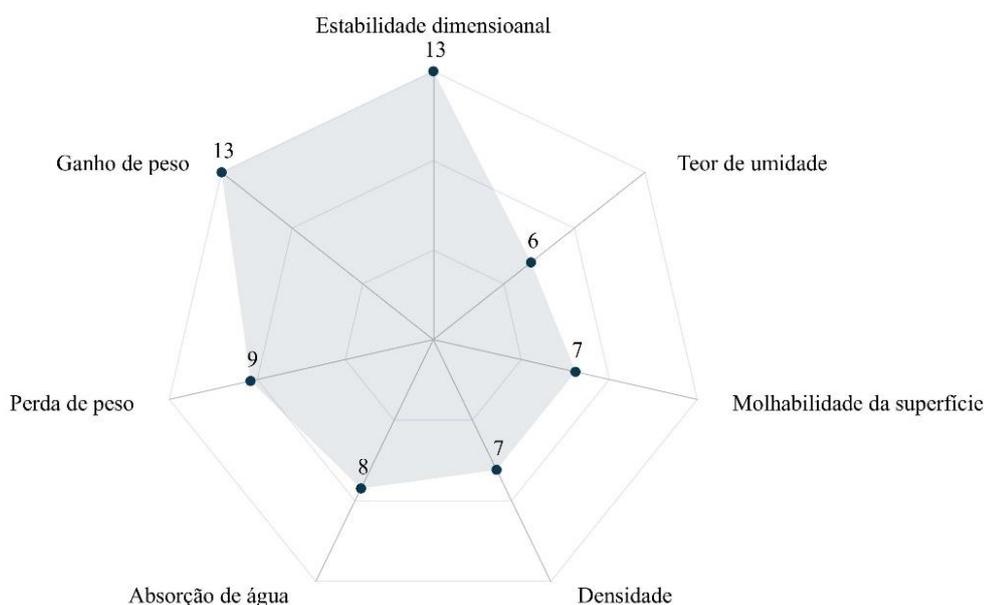
Gauss et al. (2021a) analisaram a utilização de conservantes tanino-boro para o tratamento do bambu *Dendrocalamus asper*, pelo método de impregnação a vácuo/pressão. Neste estudo, foram investigadas amostras submetidas a três tipos de soluções com variações nas concentrações das substâncias: solução de tanino/hexamina, preparada com extrato de tanino dissolvido em água e adição de hexamina; solução de octaborato de sódio tetra-hidratado (OST), formado por ácido bórico e borato dissódico decahidratado (bórax); e, por fim, com a solução de tanino/hexamina/boro preparada com ácido bórico, bórax e extrato de tanino com hexamina adicionado posteriormente.

Após a análise dos resultados, os autores relataram que as amostras tratadas com solução de tanino/hexamina/boro apresentaram os menores valores de absorção de água e taxa de inchaço, mas a diferença destes valores em relação ao bambu não tratado não foi significativa. Por outro lado, as propriedades mecânicas foram melhoradas após todos os tratamentos empregados, sendo que as amostras tratadas com tanino/hexamina/boro obtiveram os melhores resultados em relação ao aumento do MOR e MOE do bambu (GAUSS et al., 2021a).

1.3.2. Propriedades físicas

Entre as propriedades físicas analisadas nos trabalhos que compõem esta revisão sistemática, as que obtiveram um maior número de investigações foram a estabilidade dimensional e o ganho de peso (Figura 4).

Figura 4 - Relação das propriedades físicas analisadas em cada artigo



Fonte: Autora (2024).

Para a análise da estabilidade dimensional, os autores observaram o inchaço das amostras tratadas, comparando-as com as amostras que não receberam tratamento. A Tabela 5 apresenta os valores médios extraídos dos artigos para a redução do inchaço em diferentes direções e para o ganho percentual de peso após a aplicação do tratamento químico, relacionando as espécies de bambu e os tratamentos utilizados.

Tabela 5 – Propriedades físicas em relação ao tratamento químico

Tratamento químico	Ref.	Espécie	Redução do Inchaço	Ganho de Peso
CCB	1	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	Direção radial: 29% Direção tangencial: 2% Volume: 19%	23%
	4	<i>Phyllostachys edulis</i>	*	30%
Boro	1	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	Direção radial: 20% Direção tangencial: 3% Volume: 14%	18%
	23	<i>Dendrocalamus Asper</i>	Espessura: 1%	1%
Ácido bórico	23	<i>Bambusa vulgaris</i>	Espessura: 1%	3%
	23	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	Espessura: 2%	2%
	23	<i>Gigantochloa levis</i>	Espessura: 1%	4%
	4	<i>Phyllostachys edulis</i>	*	17%
OST	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 15% Largura: 3%	0%
	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 7% Largura: 4%	0%
TH	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 26% Largura: 16%	3%
TH + OST	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 21% Largura: 18%	3%
CA	2	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Volume: 29%	1%
	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 43% Largura: 33%	3%
CA + OST	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	Espessura: 42% Largura: 26%	3%
BTCA	2	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Volume: 31%	0%
FA	11	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Direção radial: -92% Direção tangencial: -48% Direção longitudinal: -65%	22%
	12	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Direção radial: 31% Direção tangencial: 30% Direção longitudinal: 37%	8%
Soluções de colofônia e etanol	17	<i>Phyllostachys iridencens</i>	Espessura: 42% Diâmetro: 25%	10%
	18	<i>Phyllostachys pubescens</i>	Direção radial: 23% Direção tangencial: 21% Direção longitudinal: 44%	22%
VA	9	*	Volume: 35%	11%
MMA	9	*	Volume: 18%	7%
VA + MMA	9	*	Volume: 41%	19%
P	13	*	Direção radial: 98% Direção tangencial: 95% Direção longitudinal: 100%	13%
P + S	13	*	Direção radial: 100% Direção tangencial: 98% Direção longitudinal: 100%	13%
Cu-B-P + Si-Al	22	*	Espessura: 9% Largura: 5%	*
NMA	19	<i>Phyllostachys heterocycla</i>	*	4%
Resina poliuretânica vegetal	14	<i>Guadua angustifolia</i>	Espessura: 16%	*

Legenda:

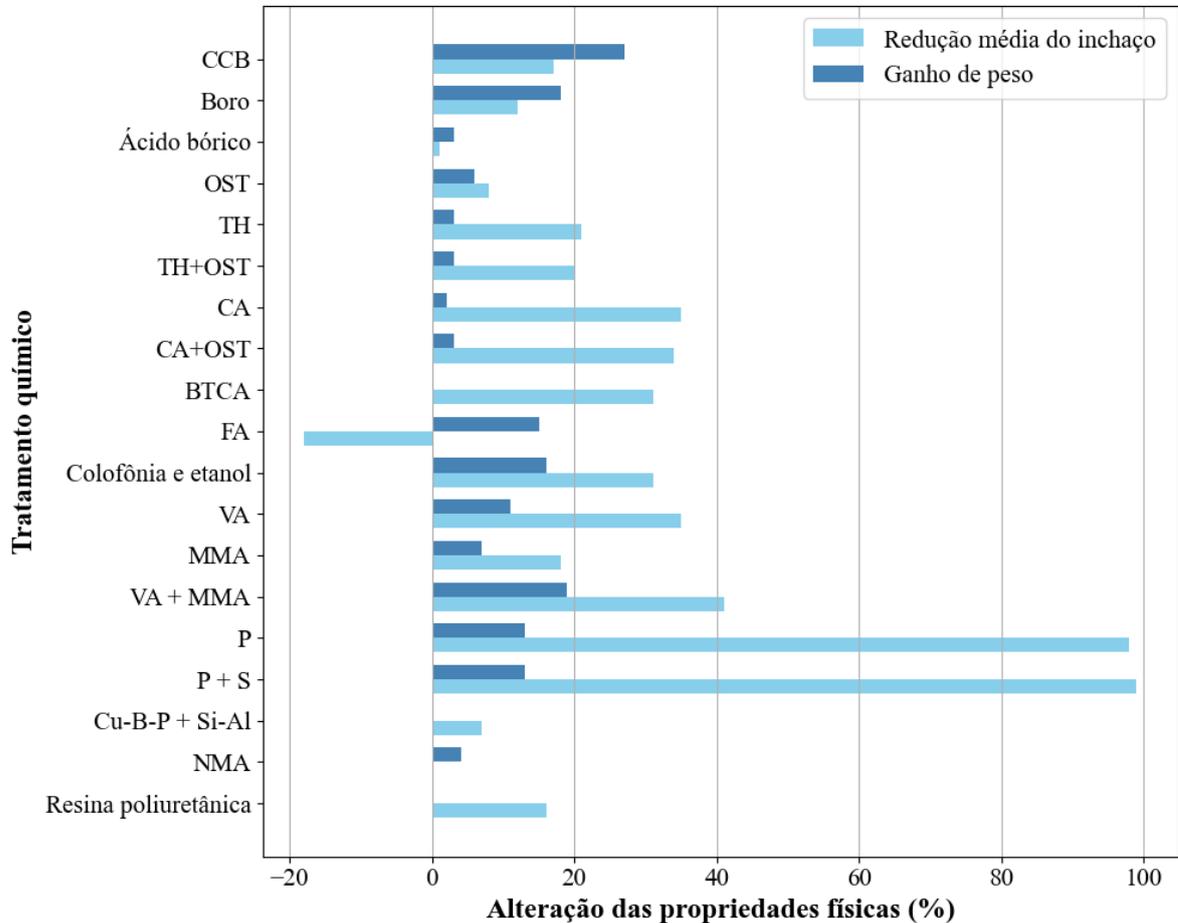
* O artigo não apresenta a informação.

Ref. – referência do artigo relacionado de acordo com a Tabela 4.

Fonte: Autora (2024).

A Figura 5 apresenta a média por tratamento químico da redução do inchaço para todas as direções analisadas e do ganho de peso para comparar os valores obtidos.

Figura 5 – Alteração das propriedades físicas após o tratamento químico



Fonte: Autora (2024).

1.3.2.1 Inchaço

O cálculo do inchaço foi feito pelos autores pela verificação das dimensões das amostras saturadas e secas em estufa, sendo que dependendo do estudo e do formato da amostra, foram analisadas as dimensões nas direções radial, tangencial e longitudinal ou as dimensões de espessura e largura ou ainda de volume.

Pode-se observar que todos os tratamentos geraram redução na propriedade de inchaço, exceto o tratamento com solução de álcool furfurílico feito por Li et al. (2020), em que foi observado um valor negativo, indicando que a estabilidade dimensional do bambu furfurilado foi significativamente reduzida. Todavia, os autores descobriram que este valor negativo estava relacionado ao colapso que ocorre nas células de parênquima durante a secagem rápida do bambu, sendo assim, em um teste adicional, as amostras foram colocadas em um ambiente com alta umidade por maior tempo, o que levou a um valor de 20% na redução do inchaço.

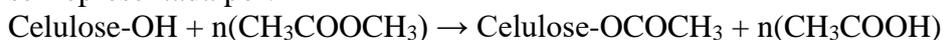
Liu et al. (2021) relataram que os valores de estabilidade dimensional reduzidos do bambu furfurilado nos resultados de Li et al. (2020) podem ser atribuídos ao elevado ganho de peso, causado pelo método de impregnação a vácuo-pressão utilizado nesse estudo. Assim, no trabalho de Liu et al. (2021), utilizou-se o método da imersão, diminuindo o ganho percentual de peso, resultando em uma maior redução do inchaço.

O tratamento com cera de parafina e ácido esteárico, investigado por Piao et al. (2022), apresentou o melhor desempenho em relação à estabilidade dimensional, considerando que após este tratamento, as amostras de bambu exibiram inchaço mínimo nas três direções analisadas.

Outros tratamentos que apresentaram elevada redução no inchaço do bambu foram aqueles com acetato de vinila com polimerização de metacrilato de metila, soluções de resina colofônia e etanol, além de todos os que fizeram uso do ácido cítrico.

Gauss et al. (2021b) afirmaram que os tratamentos com ácido cítrico levaram a uma alteração significativa nas dimensões do bambu, indicando boa estabilidade dimensional. Por outro lado, Gauss et al. (2021a) observaram que os tratamentos com boro e tanino/hexamina tiveram pouco efeito nas propriedades de hidrofobicidade do bambu.

Huang et al. (2019) sugerem que a redução no inchaço após o tratamento com acetato de vinila e metacrilato de metila ocorreu pelo fato de o acetato de vinila desativar os grupos hidroxila hidrofílicos da parede celular do bambu. A equação química que mostra esta modificação pode ser representada por:



A reação do acetato de vinila ($\text{CH}_3\text{COOCH}_3$) com os grupos hidroxila ($-\text{OH}$) da parede celular do bambu forma ésteres acetilados ($-\text{OCOCH}_3$) na estrutura da celulose, liberando o ácido acético (CH_3COOH) como subproduto. Esta celulose acetilada é menos hidrofílica do que a celulose não modificada, levando à redução da absorção de água e, conseqüentemente, também do inchaço nos colmos de bambu.

1.3.2.2 Ganho de peso

Outra propriedade física analisada pela maioria dos estudos foi o ganho de peso, considerando que, através desta propriedade, é possível perceber o quanto o produto químico penetrou no bambu (Yusof et al., 2023). Portanto, a análise desta propriedade é importante, pois indica o desempenho do produto e o custo para o tratamento do bambu (LI et al., 2020).

Os autores calcularam o ganho de peso medindo a diferença percentual entre o peso seco das amostras tratadas e o peso seco das amostras que não receberam tratamento. Os valores apresentados na Tabela 5 e Figura 5 demonstram que os tratamentos com CCB, boro, VA combinado com MMA e soluções de colofônia com etanol originaram os maiores ganhos de peso percentual do bambu.

No trabalho de Baharudin et al. (2022), foi identificado que o valor maior de ganho de peso do bambu tratado com CCB em relação ao tratado com boro, representa um desempenho relativamente melhor daquele em relação a este.

O ganho de peso das amostras de bambu após o tratamento com MMA e VA revelou que durante o processo de tratamento foram produzidos novos VA e MMA no bambu, o que é explicado pela reação entre o anidrido presente no VA com os grupos hidroxila ($-\text{OH}$) e pela polimerização de MMA (Huang et al., 2019).

Segundo Su et al. (2021b), o valor estável do ganho de peso indicou que a resina colofônia dissolvida com etanol tem capacidade para se fixar no interior do bambu mesmo após a volatilização do etanol.

Podem ser observados baixos valores de ganho de peso para os bambus tratados com compostos de boro (OST) e tanino/ hexamina (TH). Gauss et al. (2021a) relatam que estes valores são explicados pela alta quantidade de extrativos que tem o bambu, favorecendo a lixiviação dos produtos durante o tratamento.

Na Tabela 5, é possível notar que, nos estudos de Gauss et al. (2021a), o valor do ganho percentual de peso para o bambu tratado com a combinação de OST e TH aumentou em 3%, em comparação com o bambu tratado somente com OST. De acordo com Gauss et al. (2021a), os tratamentos com soluções à base de tanino têm capacidade para fixar o boro no bambu,

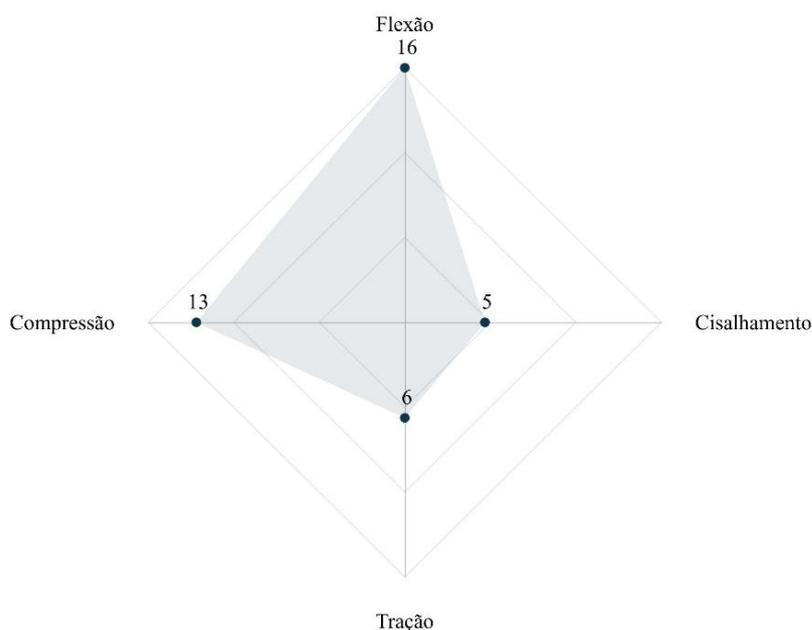
porém após a submissão a vários ciclos de lixiviação, verificou-se que a adição de tanino na solução não foi suficientemente eficaz para evitar a perda do boro.

Já na pesquisa de Gauss et al. (2021b), foi analisado que o tratamento combinado de compostos de boro com ácido cítrico não apresentou efeito na lixiviação do boro.

1.3.3. Propriedades mecânicas

Já em se tratando das propriedades mecânicas do bambu, a Figura 6 mostra a quantidade de trabalhos que investigaram cada propriedade. Verificou-se que a maioria dos artigos analisou as propriedades de flexão e compressão, enquanto um menor número de pesquisas investigou a tração e o cisalhamento.

Figura 6 - Relação das propriedades mecânicas analisadas em cada artigo



Fonte: Autora (2024).

Para análise da propriedade de compressão, foi investigada a resistência à compressão (RC) dos colmos de bambu. Para a flexão, os autores analisaram o módulo de elasticidade (MOE) e/ou o módulo de ruptura (MOR) das amostras de bambu, sendo que se optou por comparar os valores de MOR obtidos nos trabalhos, uma vez que, pela extração dos dados dos estudos selecionados, foram encontrados mais valores de MOR do que de MOE. Além disso, esta propriedade representa a força máxima que o bambu pode suportar antes de se romper, indicando sua resistência à flexão.

Os valores médios de RC e MOR, calculados antes da aplicação dos tratamentos químicos, e a diferença percentual destes valores após o uso do tratamento são apresentados pela Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades mecânicas em relação ao tratamento químico

Tratamento químico	Ref.	Espécie	RC		MOR	
			Antes do tratamento (MPa)	Após o tratamento (%)	Antes do tratamento (MPa)	Após o tratamento (%)
CCB	1	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	74,31	+8,96	183,03	+1,26
	4	<i>Phyllostachys edulis</i>	49,50	+17,37	183,00	+10,93
	20	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	56,82	+2,46	168,00	+4,29
Boro	1	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	74,31	+4,86	183,03	-1,64
Ácido Bórico	23	<i>Dendrocalamus asper</i>	41,85	-4,54	129,01	+3,38
	23	<i>Bambusa vulgaris</i>	42,67	+9,47	130,23	+20,46
	23	<i>Gigantochloa scortechinii</i>	42,70	+46,96	152,94	+10,97
	23	<i>Gigantochloa levis</i>	46,99	+5,15	137,89	+17,14
Ácido bórico + bórax	20	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	56,82	+2,39	168,00	+1,90
Bórax	8	<i>Dendrocalamus asper</i>	32,00	+103,13	150,00	+6,67
OST	3	<i>Dendrocalamus asper</i>	59,90	+26,38	156,20	+7,04
	4	<i>Phyllostachys edulis</i>	49,50	+10,91	183,00	+13,66
	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	105,30	+24,12	215,30	+12,68
	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	97,50	+16,31	193,90	+13,72
	TH	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	105,30	+10,45	215,30
TH + OST	5	<i>Dendrocalamus asper</i>	105,30	+18,90	215,30	+13,38
CA	2	<i>Phyllostachys pubescen</i>	55,50	+16,76	253,20	-21,72
	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	97,50	+17,95	193,90	+1,19
CA + OST	6	<i>Dendrocalamus asper</i>	97,50	+0,82	193,90	-4,69
BTCA	2	<i>Phyllostachys pubescen</i>	55,50	+19,46	253,20	-23,03
FA	11	<i>Phyllostachys pubescens</i>	38,00	+13,16	90,00	+22,22
	12	<i>Phyllostachys pubescens</i>	51,60	-9,88	109,60	+10,68
NaOH + Na ₂ S	15	<i>Guadua angustifolia</i>	*	*	5,50	+7,27
P	13	-	*	*	147,00	+1,18
P + S	13	-	*	*	147,00	+6,62
Tanalith-E	20	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	56,82	+5,61	168,00	+4,52
ACQ	20	<i>Phyllostachys bambusoides</i>	56,82	+7,57	168,00	+7,38
Cu-B-P	22	*	*	*	120,00	-29,17
Cu-B-P + Si-Al	22	*	*	*	120,00	-16,67
NMA	19	<i>Phyllostachys heterocycle Mazel</i>	45,00	+22,22	130,00	+69,23
Refinamento mecânico	15	<i>Guadua angustifolia</i>	*	*	5,50	+74,55

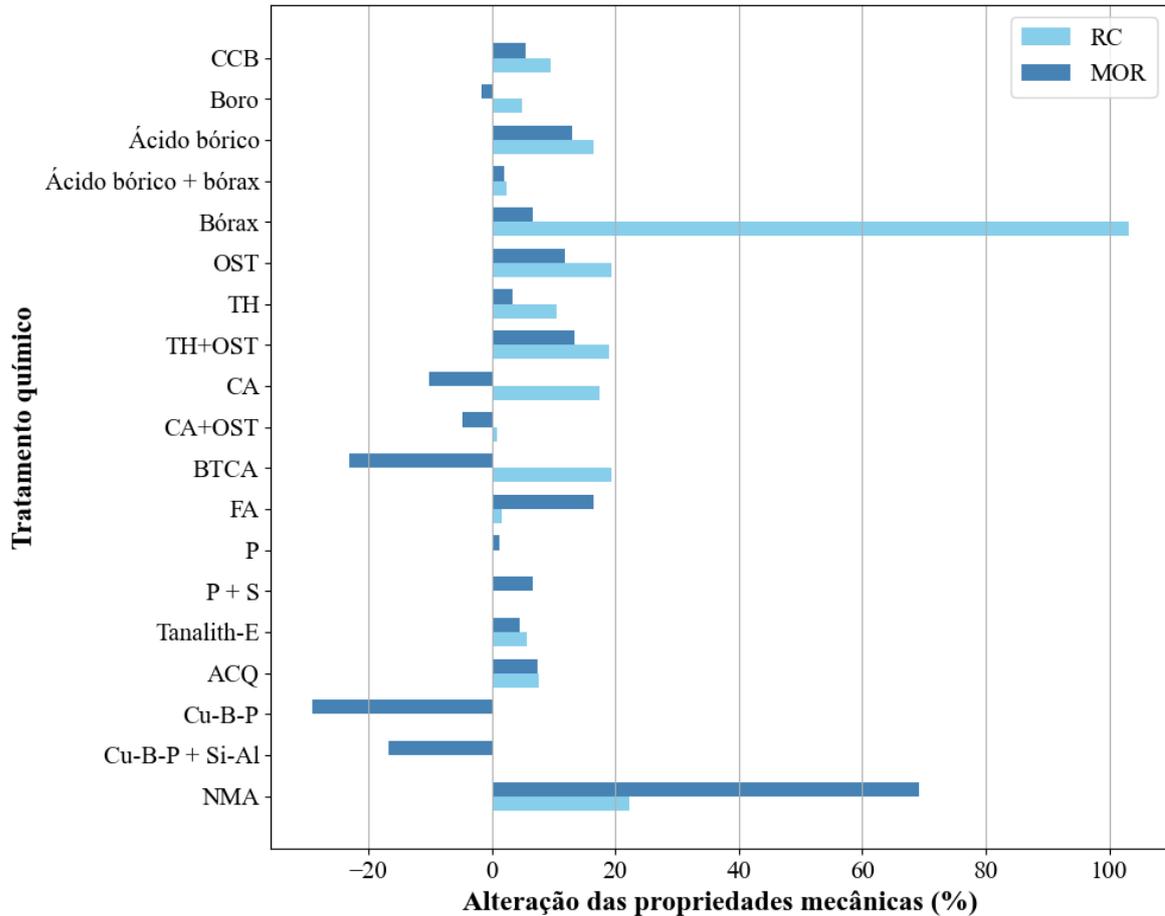
Legenda:

RC – resistência à compressão paralela às fibras; **MOR** – módulo de ruptura; **Ref.** – referência do artigo relacionado de acordo com a Tabela 4.

Fonte: Autora (2024).

Os efeitos do uso dos diferentes tratamentos químicos nas propriedades mecânicas do bambu são mostrados graficamente pela Figura 7, que representa uma comparação entre as médias dos valores exibidos pela Tabela 6 por tipo de tratamento. Ressalta-se que os tratamentos com refinamento mecânico e NaOH + Na₂S não foram considerados para a comparação, pelo fato de os valores reduzidos das propriedades das amostras não tratadas, destoarem dos demais.

Figura 7 – Alteração das propriedades mecânicas após o tratamento químico.



Fonte: Autora (2024).

1.3.3.1 Compressão

Para analisar a influência do tratamento químico na propriedade de compressão do bambu, foram apresentados os valores obtidos nos estudos em análise de resistência à compressão paralelamente às fibras dos colmos antes e após a submissão ao tratamento químico. Esta resistência é determinada pela carga máxima indicada no ensaio dividida pela área da seção transversal do corpo de prova (ABNT, 2020).

Os resultados apresentados na Tabela 6 e na Figura 7 mostram que os tratamentos com bórax, NMA, BTCA, OST, TH+OST, CA e ácido bórico foram os mais eficientes em relação ao aumento da resistência à compressão após o tratamento. Destacando-se o bambu tratado com bórax, em que a resistência aumentou em média 103% com a aplicação do tratamento químico. Os testes conduzidos no estudo de Handana, Surbakti e Karolina (2020) identificaram que a concentração de 30% de bórax forneceu a maior resistência à compressão das amostras de bambu. Segundo os mesmos autores, o aumento das propriedades mecânicas após o tratamento com bórax favorece o uso do bambu como material de construção.

Outro tratamento que apresentou efeito significativo em relação à resistência mecânica do bambu foi a polimerização de N-metilol de acrilamida (NMA) (SUN et al., 2023), em que foi possível observar um aumento de aproximadamente 22% na resistência à compressão paralelamente às fibras.

Já o tratamento com o uso de álcool furfurílico (FA) ocasionou baixos valores de alteração da resistência à compressão do bambu, sendo que no trabalho de Liu et al. (2021), foi observada uma pequena redução na RC. Segundo Li et al. (2020), o efeito negativo deste tratamento nas

propriedades mecânicas do bambu ocorreu pelo excesso de resina FA nas paredes celulares do bambu, que pode ter levado ao enfraquecimento das suas fibras.

Os demais tratamentos não ocasionaram diferença significativa na propriedade de compressão do bambu.

Também foi possível perceber que, no estudo de Yusof et al. (2023), que faz uma comparação entre diferentes espécies de bambu tratadas com ácido bórico, a espécie *Gigantochloa scortechinii* obteve um valor significativamente maior de aumento da resistência à compressão após o tratamento em comparação com as espécies *Dendrocalamus asper*, *Bambusa vulgaris* e *Gigantochloa levis*. Todavia, não foi possível analisar este efeito para os demais tratamentos, uma vez que somente Yusof et al. (2023) realizou os estudos com variação da espécie.

1.3.3.2 Flexão

Para analisar a influência dos tratamentos químicos na resistência à flexão dos colmos de bambu, foram apresentados os valores de módulo de ruptura obtidos nos artigos em análise. O MOR foi calculado pelos autores com base na carga máxima obtida nos ensaios realizados para amostras com e sem tratamento químico.

Observa-se que, assim como analisado na compressão, os tratamentos com compostos de boro (OST, TH+OST e ácido bórico) também obtiveram bons resultados no aumento do MOR dos colmos de bambu investigados.

Foi observado que o octaborato de sódio tetrahidratado (OST) melhorou a propriedade de flexão em todos os estudos que aplicaram este produto para o tratamento do bambu, tendo sido verificados aumentos aproximados do MOR de 7% a 14% em comparação com as amostras não tratadas.

Segundo Gauss, Kadivar e Savastano Jr. (2019), o aumento das propriedades mecânicas com o uso do OST para a preservação do bambu pode estar relacionado com os cristais de sal que são formados no interior da microestrutura do bambu, o que pode fazer com que as forças aplicadas durante o carregamento sejam acomodadas por estes cristais OST dentro da estrutura porosa do bambu.

Ressalta-se que a adição de tanino/hexamina na solução de OST apresentou resultados superiores de melhoria da resistência à flexão do bambu em relação às amostras tratadas somente com OST (GAUSS et al., 2021a). Todavia, situação idêntica não ocorreu na solução de OST com ácido cítrico, que levou a uma pequena redução no MOR (GAUSS et al., 2021b). Também foi possível verificar que os tratamentos com ácido cítrico e ácido 1,2,3,4 butano tetracarboxílico ocasionaram redução no módulo de ruptura. O baixo valor de pH das soluções de CA e BTCA pode degradar as hemiceluloses do bambu, levando a efeito negativo nas propriedades mecânicas do material (DONG et al., 2021).

Comparando os resultados obtidos nos artigos selecionados para esta revisão, a polimerização de N-metilol de acrilamida (NMA) foi o tratamento que mais contribuiu para o aumento da resistência à flexão do bambu, tendo o MOR aumentado de 130 MPa para 220 MPa. O efeito do revestimento do polímero de NMA (PNMA) no interior das paredes celulares do bambu foi o principal responsável pela melhoria das propriedades mecânicas do material após a polimerização (SUN et al., 2023).

1.4 CONCLUSÕES

A revisão sistemática da literatura permitiu identificar os principais métodos e produtos químicos utilizados para o tratamento de colmos de bambu, bem como sua influência nas propriedades físicas e mecânicas do material, sendo possível enfatizar as seguintes conclusões:

- Os resultados extraídos dos artigos selecionados para a RSL revelaram que a maior parte dos tratamentos químicos analisados teve efeito positivo nas propriedades físicas e mecânicas do bambu, com redução de inchaço, ganho de peso e aumento de resistência

à compressão e módulo de ruptura à flexão. Todavia, alguns tratamentos apresentaram efeitos mais significativos em relação aos demais.

- Entre os tratamentos analisados, o que faz uso de cera de parafina e ácido esteárico apresentou o melhor desempenho em relação à melhoria da estabilidade dimensional. Contudo, os estudos não relataram aumento significativo nas propriedades mecânicas após a aplicação deste tratamento.
- Os bambus tratados com ácido cítrico também apresentaram boa estabilidade dimensional, todavia foi observado que o tratamento com este ácido leva a uma redução considerável do módulo de ruptura à flexão.
- Em relação ao desempenho mecânico, os bambus tratados com compostos de boro, incluindo bórax, ácido bórico ou sua combinação (OST), apresentaram bons resultados. Contudo, observou-se que, quando o bambu é exposto a ambientes externos, o boro está sujeito à lixiviação.
- A adição de tanino ao tratamento com boro se apresentou como uma possível solução para o problema de lixiviação, uma vez que esta adição aumentou a capacidade de fixação da solução OST, além de ter proporcionado resultados superiores de melhoria das propriedades mecânicas do bambu. Entretanto, foi verificado que, após testes severos de lixiviação, o tanino não foi suficientemente capaz de evitar a perda de boro do bambu.
- O tratamento com polimerização de N-metilol de acrilamida (NMA) se destacou em relação aos demais no que diz respeito ao aumento da resistência à compressão e flexão do bambu, sendo responsável por aumentos aproximados de 22% na RC e 69% no MOR.

Diante do exposto, pela leitura dos artigos que compuseram essa revisão, e considerando a importância da melhoria das propriedades mecânicas para a utilização do bambu como um material de construção, principalmente para fins estruturais, o tratamento com polimerização de N-metilol de acrilamida se mostrou mais adequado para a aplicação em colmos de bambus destinados à construção civil. Contudo, sugere-se que novas pesquisas sejam conduzidas, que analisem as propriedades de tração, cisalhamento e estabilidade dimensional do bambu após este tratamento, uma vez que, por meio da revisão, não foram encontrados trabalhos que analisassem estas propriedades para o tratamento com NMA.

O tratamento com a utilização de octaborato de sódio tetrahidratado e tanino também foi considerado eficiente, pois apresentou resultados satisfatórios para o aumento das propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional do bambu. Todavia, estudos adicionais são necessários, visando otimizar a fixação do boro com o uso do tanino.

É importante ressaltar que, através desta RSL, não foi possível identificar se há influência da espécie de bambu na alteração das propriedades físicas e mecânicas do material após o uso do tratamento químico, uma vez que somente um entre os artigos selecionados fez uma comparação das propriedades de mais de uma espécie para o mesmo tratamento. Assim, os dados são insuficientes para realizar uma análise de variância que verifique se há diferença significativa da espécie nos resultados, sendo sugerida a elaboração de novos trabalhos que façam essa análise comparativa.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828-2**: Estruturas de bambu - Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro, 2020.

BAHARUDDIN, N. *et al.* Effect of Preservative Treatment on Physical and Mechanical Properties of Bamboo (*Gigantochloa scortechinii*) Strips. **BioResources**, 2022.

- BUI, Q. B.; GRILLET, A. C.; TRAN, H.D. A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance. **Sustainability**, Chambéry, v.9, 2017.
- CAETANO, G. **Modelos preditivos de dano aplicados a estruturas de concreto atacadas por reação álcali-sílica: Uma revisão sistemática da Literatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- DONG, Y. *et al.* Evaluation of anti-mold, termite resistance and physical-mechanical properties of bamboo cross-linking modified by polycarboxylic acids. **Construction and Building Materials**, 2021.
- DONG, Y. *et al.* Improvement of water resistance, dimensional stability, and mechanical properties of poplar wood by rosin impregnation. **Eur. J. Wood Prod**, 2016.
- GAUSS, C.; KADIVAR, M.; SAVASTANO Jr, H. Effect of disodium octaborate tetrahydrate on the mechanical properties of *Dendrocalamus asper* bamboo treated by vacuum/pressure method. **Journal of Wood Science**, 65:27, São Paulo, 2019.
- GAUSS, C. *et al.* Quality assessment and mechanical characterization of preservative-treated Moso bamboo (*P.edulis*). **European Journal of Wood and Wood products**, 2020.
- GAUSS, C. *et al.* Assessment of *Dendrocalamus asper* (Schult and schult f.) (Poaceae) bamboo treated with tannin-boron preservatives. **Construction and Building Materials**, v. 282, New Zeland, 2021a.
- GAUSS, C. *et al.* Chemical modification of *Dendrocalamus asper* bamboo with citric acid and boron compounds: Effects on the physical-chemical, mechanical and thermal properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, 2021b.
- GUO, W. *et al.* Processing bulk natural bamboo into a strong and flame-retardant composite material. **Industrial Crops and Products**, 2019.
- HANDANA, M. A. P.; SURBAKTI, B.; KAROLINA, R. The Effect of Borax Solution as Preservative to the Mechanical Properties of Bamboo. **International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology**, 2020.
- HUANG, S. *et al.* Combined Chemical Modification of Bamboo Material Prepared Using Vinyl Acetate and Methyl Methacrylate: Dimensional Stability, Chemical Structure, and Dynamic Mechanical Properties. **Polymers**, 2019.
- JIANG, J. *et al.* Enhanced durability of round bamboo treated with Copper naphthenate under heat-cold impregnation. **Royal Society Open Science**, v. 9, 2022.
- JU, Z. *et al.* Eco-friendly method to improve the durability of different bamboo (*Phyllostachys pubescens*, Moso) sections by silver electrochemical treatment. **Industrial Crops and Products**, 2021.
- LI, J. *et al.* Tannin Resins for Wood Preservatives: A Review. **Research and Application of Materials Science**, 2019. v. 1, p. 45-48.
- LI, W. *et al.* Preparing highly durable bamboo materials via bulk furfurylation. **Construction and Building Materials**, 2020.
- LIU, M. *et al.* Dimensionally stable and highly durable bamboo material prepared through a simple surface furfurylation. **Construction and Building Materials**, 276, Fuzhou, 2021.

- PIAO, X. et al. Exploration and preparation of multifunctional bamboo based on green wax-based composite system. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, 643, PR China, 2022.
- SANCHEZ, M. L.; MORALES, L. Y.; CAICEDO, J. D. Physical and mechanical properties of agglomerated panels made from bamboo fiber and vegetable resin. **Construction and Building Materials**, 2017.
- SANCHEZ-ECHEVERRI, L.A. *et al.* Mechanical refining combined with chemical treatment for the processing of Bamboo fibres to produce efficient cement composites. **Construction and Building Materials**, 2021.
- SHAH, D. U.; SHARMA, B.; RAMAGE, M. H. Processing bamboo for structural composites: Influence of preservative treatments on surface and interface properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 2018.
- SILVA, G. A.; SILVA, J. V. M. Sistema Construtivo em Bambu – Calfitice. XVIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Porto Alegre, 2020.
- SINGHA, B. L.; BORAH, R. K. Traditional Methods of Post Harvest Bamboo Treatment for Durability Enhancement. **International Journal of Scientific & Engineering research**, v. 8, Assam, 2017.
- SU, N. *et al.* Effects of rosin treatment on hygroscopicity, dimensional stability, and pore structure of round bamboo culm. **Construction and Building Materials**, 2021a.
- SU, N. *et al.* Hydrophobic treatment of bamboo with rosin. **Construction and Building Materials**, 2021b.
- SUN, *et al.* In situ polymerization of N-methylol acrylamide (NMA) for bamboo anti-mold modification. **Construction and Building Materials**, v. 363, 2023.
- TOPALOGLU, E. Effect of accelerated weathering test on selected properties of bamboo, scots pine and oriental beech wood treated with waterborne preservatives. **Drvna Industrija**, 2019.
- WANG, J. *et al.* Anti-mold activity and reaction mechanism of bamboo modified with laccase-mediated thymol. **Industrial Crops and Products**, 2021.
- WU, Z. *et al.* Mesoporous aluminosilicate improves mildew resistance of bamboo scrimber with CuBP anti-mildew agents. **Journal of Cleaner Production**, 2019.
- YUSOF, N. M. *et al.* Effects of Boric Acid Pretreatment on the Properties of Four Selected Malaysian Bamboo Strips. **Forests**, v. 14, 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como apresentado pelo presente trabalho, o bambu é um material que tem diferentes aplicabilidades e seu uso na construção civil tem se destacado, visando à sustentabilidade, uma vez que esta planta, além de ter excelentes características de resistência, apresenta alta

capacidade de absorção de CO₂ e não faz uso de tecnologias que gerem impactos ao meio ambiente durante seu cultivo.

As discussões apresentadas mostraram que o bambu tem capacidade para ser incorporado na construção em substituição aos materiais convencionais, inclusive para fins estruturais, porém é necessário que se faça um tratamento adequado para que ele possa ser utilizado com qualidade e segurança.

Por meio da revisão sistemática desenvolvida neste trabalho, foram apresentados diferentes produtos e métodos de tratamento que aumentam a durabilidade dos colmos de bambu, protegendo-os contra os agentes degradantes. Entre esses métodos, o tratamento com polimerização de N-metilol de acrilamida se destacou em relação à melhoria das propriedades mecânicas do material, sendo mais adequado para a viabilização do uso do bambu na construção civil. Contudo, sugere-se a elaboração de trabalhos adicionais que investiguem mais propriedades do bambu após a aplicação deste tratamento, como a estabilidade dimensional, a resistência à tração e ao cisalhamento.

O tratamento com ácido bórico e bórax, formando o octaborato de sódio tetra-hidratado (OST), apresentado na hipótese do trabalho, também se mostrou adequado. Todavia, pesquisas demonstraram que o boro é suscetível à lixiviação e que, apesar de a adição do tanino ao tratamento ser considerada uma boa solução para o problema, os estudos comprovaram que seu efeito não foi completamente eficaz ao submeter o material a testes intensos de lixiviação. Portanto, mais estudos precisam ser desenvolvidos, buscando encontrar alternativas para solucionar o problema.

Perante o exposto, enfatiza-se que as conclusões apresentadas se basearam em resultados de estudos científicos, servindo como auxílio para a escolha do melhor tratamento, a qual dependerá das necessidades específicas e dos recursos disponíveis para a execução de cada projeto, uma vez que, conforme explicitado, cada tratamento apresenta suas vantagens e limitações.

Além disso, não foi possível concluir, através desta revisão, se a espécie de bambu tem diferença significativa em relação à melhoria das propriedades físicas e mecânicas com a aplicação do tratamento químico, uma vez que os dados extraídos dos artigos selecionados não apresentaram um número suficiente de valores que tornassem possível essa análise. Sendo assim, sugere-se que estudos posteriores façam esta investigação para verificar a influência da espécie na eficiência dos tratamentos químicos.

Ademais, ressalta-se que para a viabilização do uso do bambu na indústria da construção civil, métodos padronizados de controle de qualidade, que examinem as propriedades físicas e mecânicas do material após a aplicação do tratamento, precisam ser estabelecidos, visando a garantir que o bambu tratado esteja apto para ser comercializado como material de construção.