

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA E URBANISMO

DANIEL FERREIRAPINTO

**PRÉ-FABRICAÇÃO E BAMBU NA ARQUITETURA RESIDENCIAL:
EXPERIMENTAÇÕES DIGITAIS COM BIM**

OURO PRETO

2026

DANIEL FERREIRAPINTO

**PRÉ-FABRICAÇÃO E BAMBU NA ARQUITETURA RESIDENCIAL:
EXPERIMENTAÇÕES DIGITAIS COM BIM**

Trabalho Final de Graduação (TFG) apresentado ao curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Clécio Magalhães do Vale

OURO PRETO

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

P659p Pinto, Daniel Ferreira.
Pré-fabricação e bambu na arquitetura residencial [manuscrito]:
experimentações digitais com BIM. / Daniel Ferreira Pinto. - 2026.
84 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Clécio do Vale.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Arquitetura e Urbanismo .

1. Arquitetura. 2. Arquitetura e tecnologia. 3. Modelagem de
informação da construção. 4. Bambu. I. Vale, Clécio do. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 72:711.4

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Daniel Ferreira Pinto

Pré-fabricação e BIM na arquitetura residencial: experimentações digitais com bambu

Monografia apresentada ao Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Arquiteto e Urbanista

Aprovada em 24 de fevereiro de 2026

Membros da banca

Dr. Clécio Magalhães do Vale - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Tito Flávio Rodrigues de Aguiar - (Universidade federal de Minas Gerais)
Me. Érico de Oliveira e Silva - Prefeitura Municipal de Ouro Preto

Clécio Magalhães do Vale, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 26/02/2026



Documento assinado eletronicamente por **Clecio Magalhaes do Vale, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 26/02/2026, às 22:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1066263** e o código CRC **7E95FD8E**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família: aos meus pais Eric e Júnia, que me proporcionaram as as melhores oportunidades de ensino que me trouxeram até aqui; aos meus irmãos André, Miguel e Gaia, cuja amizade sempre permearam minha vida; e ao Rafael, que tornou o tempo da faculdade um momento alegre e radiante. Agradeço aos meus amigos do 21.1, com quem percorri grande parte deste trajeto e aos amigos que fiz em Ouro Preto: ao Davi e Mathgui, ao Pedro e à Júlia, por todos os bons momentos que passamos juntos. Agradeço ainda aos meus amigos de antes da faculdade, especialmente Francesco e Sofia, pela amizade que mantivemos viva ao longo dos anos. Também agradeço ao professor Fernando Pacheco, da PUC-MG, que despertou em mim o interesse pelo projeto de arquitetura, e, por fim, ao meu orientador, professor Clécio Magalhães do Vale, que me acompanhou no desenvolvimento deste trabalho de conclusão.

RESUMO

A construção em bambu no Brasil enfrenta limitações relacionadas à ausência de normalização técnica consolidada, à fragmentação da cadeia produtiva e à dificuldade de replicação de soluções predominantemente artesanais. Este Trabalho Final de Graduação investiga o potencial da pré-fabricação leve, associada a fluxos digitais baseados em *Building Information Modeling* (BIM), como estratégia para viabilizar o uso do bambu em sistemas híbridos e industrializados. A pesquisa adota como base metodológica a classificação de sistemas pré-fabricados proposta por Smith (2010), que organiza os elementos construtivos em componentes, painéis e módulos, orientando o desenvolvimento de critérios projetuais e construtivos adaptáveis. A metodologia é estruturada em duas etapas, sendo a primeira dedicada à revisão bibliográfica e à análise de estudos de caso, e a segunda voltada ao desenvolvimento de um *template* paramétrico no software Autodesk® Revit® e à sua aplicação em projeto de referência. O trabalho articula fundamentos do *Design for Manufacturing and Assembly*, da customização em massa e da desmontabilidade, propondo uma abordagem que integra projeto, produção e montagem. Os resultados indicam que o uso do BIM como plataforma de gestão da informação contribui para a sistematização do uso do bambu, ampliando sua compatibilidade com processos de pré-fabricação e com exigências do mercado da construção civil.

Palavras-chave: bambu, pré-fabricação, BIM, Autodesk® Revit®, arquitetura.

ABSTRACT

Bamboo construction in Brazil faces limitations related to the lack of consolidated technical standards, a fragmented production chain, and the difficulty of replicating predominantly handcrafted solutions. This Undergraduate Thesis investigates the potential of lightweight prefabrication, associated with Building Information Modeling (BIM) digital workflows, as a strategy to enable the use of bamboo in hybrid and industrialized systems. The research adopts the classification of prefabricated systems proposed by Smith (2010) as its methodological basis, which organizes constructive elements into components, panels, and modules, guiding the development of adaptable design and construction criteria. The methodology is structured in two stages: the first dedicated to a literature review and case study analysis, and the second focused on the development of a parametric template in Autodesk® Revit® software and its application to a reference project. The study articulates the fundamentals of *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA), *mass customization*, and disassembly, proposing an approach that integrates design, production, and assembly. The results indicate that the use of BIM as an information management platform contributes to the systematization of bamboo use, enhancing its compatibility with prefabrication processes and the demands of the construction industry market.

Keywords: bamboo, prefabrication, BIM, Autodesk® Revit®, architecture.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO: BAMBU, PRÉ-FABRICAÇÃO E BIM..	10
1.1 PRÉ-FABRICAÇÃO E ARQUITETURA MODULAR.....	10
1.1.1 HISTÓRICO E DESAFIOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO HABITACIONAL...	10
1.1.2 DESIGN PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM (DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY) APLICADO AO BAMBU.....	19
1.1.3 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS: COMPONENTES, PAINÉIS E MÓDULOS.....	21
1.1.4 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA E ADAPTABILIDADE.....	26
1.1.5 SUSTENTABILIDADE E DESIGN FOR DECONSTRUCTION.....	29
1.2 O BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA.....	30
1.2.1 ESPÉCIES RELEVANTES E APLICAÇÕES.....	30
1.2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS, TRATAMENTOS E MATERIAIS ENGENHEIRADOS.....	31
1.2.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA.....	33
1.2.4 CADEIA PRODUTIVA E PANORAMA NACIONAL.....	34
1.3 BIM E MODELAGEM DIGITAL NA ARQUITETURA COM BAMBU.....	36
1.3.1 BIM COMO PLATAFORMA PARA PRÉ-FABRICAÇÃO.....	36
1.3.2 AUTOMATIZAÇÃO COM DYNAMO®.....	36
1.3.3 MODELAGEM DE SISTEMAS DE BAMBU NO Autodesk® REVIT®...	37
1.3.4 BIM-TO-FABRICATION E INTEROPERABILIDADE.....	37
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE REFERÊNCIAS PROJETAIS.....	39
2.1 ANÁLISE DE PROJETOS, ESCRITÓRIOS E EMPRESAS RELACIONADAS AO TEMA.....	39
2.1.1 MODERN MODULAR® - RESOLUTION: 4 ARCHITECTURE® (ESTADOS UNIDOS).....	39
2.1.2 CUBO MODULAR INC. (FILIPINAS).....	41

2.1.3 MODELO BRISA - BAMBUGALÔ (BRASIL).....	43
2.1.4 ECO-HOUSE 3.0 - NOEM (ESPANHA).....	44
2.2 QUADRO COMPARATIVO.....	45
CAPÍTULO 3 - O SISTEMA CONSTRUTIVO PRÉ-FABRICADO PROPOSTO.....	46
3.1 PROPOSTA DE EDIFICAÇÃO MODELO (PROTÓTIPO).....	46
3.1.1 IMAGENS DA EDIFICAÇÃO MODELO.....	47
3.2 LAJE DE BASE (OFF-SITE + ON-SITE).....	48
3.3 PILARES E CONEXÕES.....	51
3.4 VEDAÇÃO VERTICAL E PAINÉIS DE FECHAMENTO (OFF-SITE).....	52
3.5 COBERTURA.....	55
3.6 ACABAMENTOS E REVESTIMENTOS.....	56
CAPÍTULO 4 - CONTRIBUIÇÕES DO BIM PARA A CONSOLIDAÇÃO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO EM BAMBU.....	58
4.1 NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO (LOD) E ESTRATÉGIA DE MODELAGEM.....	58
4.1.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DO LOD 300.....	59
4.1.2 A “FALSA PRECISÃO” E A EXCLUSÃO DO LOD 400.....	59
4.1.3 COMPLEMENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO.....	60
4.2 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL E ESTRUTURA ASSOCIADA.....	60
4.3 SISTEMAS DE PISO, LAJES, FORROS E COBERTURA.....	62
4.4 AUTOMAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO E GESTÃO DE DADOS COM DYNAMO®.....	66
4.4.1 PADRONIZAÇÃO E RASTREABILIDADE DE PEÇAS.....	67
4.4.2 GESTÃO DE VISIBILIDADE EM VISTAS DE DETALHAMENTO.....	67
4.4.3 AUTOMATIZAÇÃO DE COTAGEM.....	67
4.5 DOCUMENTAÇÃO, FILTROS E CONTROLE VISUAL DA PRODUÇÃO.....	68
4.6 SHOWROOM E ORGANIZAÇÃO DO TEMPLATE.....	71
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS.....	75
APÊNDICE I – DECLARAÇÃO DE IAGen E TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IAGen NO	

PROCESSO DE ESCRITA CIENTÍFICA.....	85
APÊNDICE II - PROJETO PROTÓTIPO.....	87

INTRODUÇÃO

A construção em bambu, embora renovável e de baixo impacto ambiental, ainda enfrenta barreiras para sua adoção na arquitetura contemporânea. No entanto, sua relevância é amplificada no contexto da crise climática, onde materiais de rápido crescimento, alta capacidade de sequestro de carbono e circularidade deixam de ser alternativas e se tornam estratégicos para a descarbonização do setor. O predomínio de técnicas artesanais, a ausência de normalização abrangente e a escassez de soluções sistematizadas limitam sua inserção no mercado formal da construção civil. É justamente na aliança entre a pertinência das técnicas tradicionais e a precisão da atualização tecnológica que reside a oportunidade de superar essas barreiras. Diferentemente de materiais como madeira e aço, que integram cadeias produtivas consolidadas, o bambu permanece marginalizado (Smith, 2010).

Este Trabalho Final de Graduação (TFG) investiga como o uso de ferramentas digitais, em especial o *Building Information Modeling* (BIM)¹, pode colaborar para a concepção e gestão da produção de sistemas pré-fabricados em bambu, especialmente no contexto de projetos residenciais. Segundo Smith (2010), a eficácia da pré-fabricação depende do alinhamento entre ambiente, organização e tecnologia. O BIM permite integrar concepção, modelagem e documentação em um mesmo ambiente digital, otimizando a coordenação entre projeto, fabricação e montagem (Gunawardena; Mendis, 2022).

A proposta parte da lógica de classificação de Smith (2010) - componentes, painéis e módulos - para desenvolver uma metodologia de projeto digital orientada à pré-fabricação leve. Serão utilizadas as ferramentas Autodesk® Revit®² para a criação de protótipos e famílias³ paramétricas adaptadas ao bambu. O trabalho será desenvolvido em duas etapas:

¹ BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, é uma forma de organizar e acompanhar todas as informações de um projeto em um modelo 3D digital. Esse modelo não serve apenas para representar a forma da edificação, mas também para armazenar dados sobre os materiais, as etapas da obra, os custos e até a manutenção futura. Tudo fica concentrado em um único arquivo, onde profissionais de diferentes áreas, como arquitetura, estrutura e instalações, trabalham juntos. Isso facilita a comunicação entre equipes, evita erros e retrabalhos e melhora o planejamento da construção (Autodesk, 2025).

² O Revit® é um software de modelagem da informação da construção (BIM) desenvolvido pela Autodesk, voltado para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos, estruturais e de instalações prediais. Permite a criação de modelos tridimensionais paramétricos que integram geometrias e dados construtivos em um único ambiente, favorecendo a coordenação entre disciplinas, a documentação técnica automatizada e a extração de quantitativos (Autodesk, 2023).

³ No Revit®, “famílias” são elementos paramétricos que compõem o modelo e armazenam suas características geométricas e de informação. Podem representar desde objetos simples, como móveis e luminárias, até sistemas complexos, como portas, janelas ou componentes estruturais. (Autodesk, 2023).

TFG1 - pesquisa teórica e análise de referências - e TFG2 - desenvolvimento de *template* paramétrico e testes de aplicabilidade.

O objetivo geral deste trabalho é investigar estratégias de pré-fabricação baseadas em fluxos digitais com BIM, visando à aplicação do bambu na arquitetura residencial de baixa complexidade no Brasil. A proposta se concentra no desenvolvimento de um sistema construtivo customizável para o segmento de residências, voltadas a um público de classe média e média-alta. Concebido prioritariamente para implantação em terrenos suburbanos em que a adoção de soluções pré-fabricadas leves possa reduzir custos logísticos e prazos de execução, sem que haja impedimentos para sua adaptação a lotes urbanos com dimensões aproximadas de pelo menos 12 x 30 metros. O produto final do trabalho é um *template* paramétrico BIM destinado a arquitetos e outros projetistas, servindo como uma ferramenta para que estes possam utilizar o bambu de forma sistematizada em seus projetos.

Para isso, propõem-se três objetivos específicos: analisar a literatura sobre pré-fabricação, bambu e modelagem digital; identificar e examinar estudos de caso e referências projetuais que empregam sistemas modulares ou o uso construtivo do bambu e desenvolver um *template* paramétrico no Autodesk® Revit® que permita a modelagem de elementos construtivos com bambu buscando adaptabilidade e replicabilidade.

A estrutura do TFG1 compreende o capítulo 1, dedicado ao referencial teórico sobre pré-fabricação, bambu e BIM, e o capítulo 2, voltado à análise de estudos de caso e aos encaminhamentos para o TFG2. Nesta segunda etapa, o foco é no Capítulo 3 e 4, que detalham as soluções encontradas para o modelo de edificação e o processo de criação do *template* BIM. Este *template* reúne famílias de componentes construtivos em bambu, compatíveis com a pré-fabricação, a modularidade e os encaixes, conforme a classificação de Smith (2010). A aplicabilidade do *template* está demonstrada no apêndice que inclui um projeto de exemplo, simulando um caso para evidenciar a sua funcionalidade.

CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO: BAMBU, PRÉ-FABRICAÇÃO E BIM

1.1 PRÉ-FABRICAÇÃO E ARQUITETURA MODULAR

1.1.1 HISTÓRICO E DESAFIOS DA INDUSTRIALIZAÇÃO HABITACIONAL

É fundamental entender que, na produção científica, o termo pré-fabricação é frequentemente associado à industrialização da construção. A industrialização se refere à aplicação de métodos e processos da indústria manufatureira à construção civil, com o objetivo de aumentar a eficiência, produtividade e qualidade. Já a pré-fabricação refere-se à fabricação de elementos inteiros como paredes, painéis e pilares em ambientes controlados, fora do canteiro de obras. Essas partes podem incluir instalações e acabamentos, sendo levadas ao local da obra apenas para montagem. Essa abordagem ajuda a otimizar o tempo, reduzir o desperdício e garantir um controle de qualidade superior. No entanto, conforme Lage e Vale (2024) ressaltam, a pré-fabricação não está limitada a processos da era industrial e pode até ser realizada com métodos artesanais, utilizando materiais variados, não apenas o concreto. Em uma época de expansão territorial e revolução industrial, os ingleses, que pouco conheciam sobre os materiais disponíveis nas colônias, consideraram mais eficiente pré-fabricar abrigos na Europa e enviá-los desmontados para seu destino final. O caso mais antigo que se tem registro dessa iniciativa remonta a 1624, quando casas desmontadas foram enviadas para a cidade colona Cape Anne, no atual Massachusetts. A partir dessa data até durante o século XIX foram produzidas várias tentativas de melhoramentos da arquitetura pré-fabricada. Usou-se materiais como a madeira e o aço (o aço corrugado foi inventado e também o processo de galvanização, que garantia maior durabilidade às edificações) (Smith, 2010, cap. 1.1).

Já no início do século XX, surgem outras figuras fundamentais para a consolidação da ideia de industrialização na arquitetura. Walter Gropius via na industrialização uma resposta à demanda habitacional. Gropius defendia que, em vez de projetar cada edificação individualmente, o arquiteto deveria desenvolver sistemas e componentes que permitissem diversas combinações e adaptações, conforme necessidades locais, sociais e econômicas. Essa lógica está detalhada, por exemplo, no livro *Prefab Architecture* de Ryan E. Smith (2010, p.

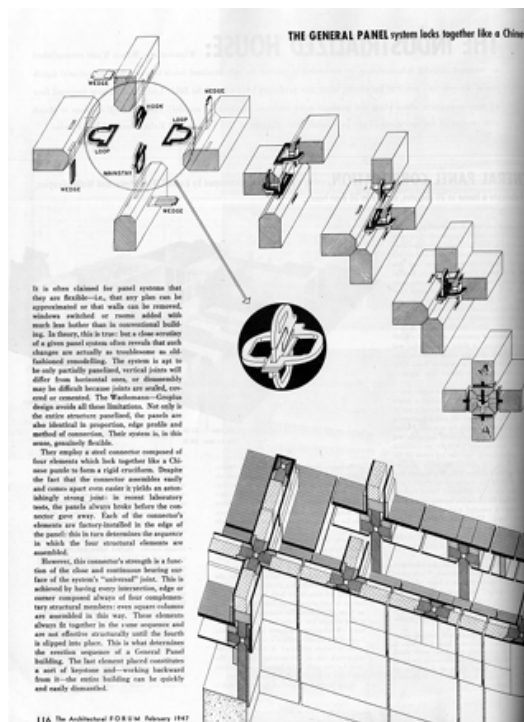
27-29), que apresenta Gropius como defensor da industrialização e modularidade na arquitetura. O foco do arquiteto deixa de ser a forma final da casa e passa a ser o desenvolvimento dos elementos que a compõem e das regras de montagem que os organizam. A casa, nesse modelo, é o resultado de um sistema aberto⁴, que pode ser replicado em diferentes configurações, respondendo a demandas variáveis com eficiência produtiva e controle técnico. Ainda na década de 1910, Gropius propôs soluções industrializadas em parceria com o escritório de Peter Behrens, e mais tarde fundou a Bauhaus, que teve papel importante na articulação entre arte, técnica e indústria. Mais tarde, na década de quarenta, em parceria com Konrad Wachsmann, desenvolveu o sistema "*Packaged House*", composto por painéis conectados por uma peça metálica patenteada.

O projeto "*Packaged House*" é um exemplo de sistema pré-fabricado modular, concebido por Wachsmann e Gropius, arquitetos imigrantes alemães que chegaram aos Estados Unidos durante a Segunda Guerra Mundial. O plano era reequipar as fábricas de guerra para produzir habitações de baixo custo para os veteranos que retornavam.

Wachsmann pensou o sistema como "aberto", usando dez tipos de painéis de 40" × 120". Na prática, porém, era "fechado" porque dependia de materiais proprietários e de uma modulação que não correspondia aos padrões da indústria, como o compensado de 4' × 8'. A ideia era que todas as superfícies da casa, incluindo paredes externas, divisórias, pisos, tetos e cobertura, fossem feitas com os mesmos painéis. O ponto central era uma "junta universal" criada por Wachsmann, responsável por manter a estrutura estável, como registrado na Figura 01 (IMPERIALE, 2012, p. 41-42).

⁴ Sistema Aberto e Fechado na Construção: Um sistema aberto de pré-fabricação permite a livre combinação de componentes e subsistemas provenientes de diferentes fabricantes, oferecendo maior flexibilidade projetual e de mercado. Um sistema fechado restringe o uso a componentes específicos do seu catálogo e processos de fabricação proprietários, limitando a variação e a interoperabilidade.

Figura 01 -Detalhe do sistema de juntas universais do projeto "Packaged House", de Gropius e Wachsmann.

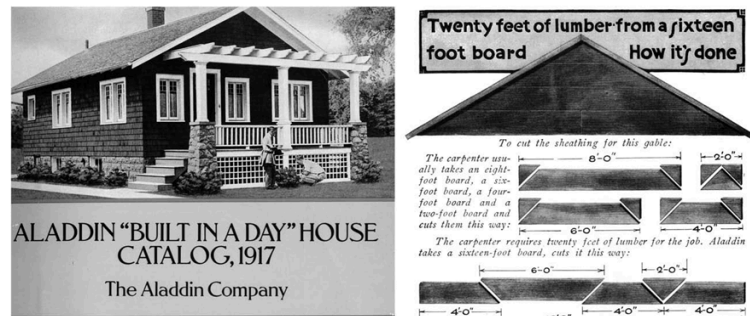


Fonte: IMPERIALE (2012, p. 41).

Apesar do potencial, o projeto não teve sucesso comercial nem chegou a ser totalmente executado. O sonho da casa feita em fábrica não se concretizou, em parte pela busca constante de Wachsmann por uma perfeição geométrica que acabou atrasando o desenvolvimento e a produção. O projeto também perdeu apoio governamental quando o programa de habitação para veteranos foi cancelado em 1947, inviabilizando o plano de reaproveitar fábricas de guerra (IMPERIALE, 2012).

Nesse mesmo contexto histórico, segundo Smith (2010), no final do século XIX e início do XX, surgem as primeiras casas enviadas por catálogo nos Estados Unidos (Figura 02). Os chamados “*kit homes*” eram conjuntos de peças pré-fabricadas que podiam ser adquiridos por correspondência. As empresas despachavam todo o material necessário por trem e os compradores montavam a casa no local. Um dos principais exemplos foi o catálogo da *Sears, Roebuck and Co.*, que comercializou mais de 100 mil casas entre 1908 e 1940. Essas residências foram um marco por associarem padronização, distribuição em larga escala e a ideia de produto habitacional como mercadoria.

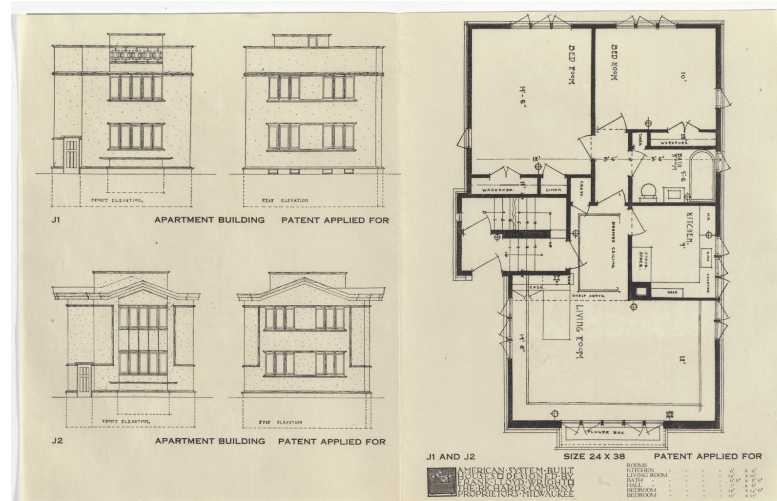
Figura 02 - Exemplo de casa pré-fabricada por catálogo, popular nos Estados Unidos no início do século XX, que impulsionou a padronização e distribuição em larga escala de habitações.



Fonte: Smith, Ryan E. *Prefab architecture: a guide to modular design and construction*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. p. 29.

Outro nome que pesquisou sobre a pré-fabricação na arquitetura foi Frank Lloyd Wright, refletindo sobre a industrialização, embora com reservas. Chegou a propor, em 1916, um sistema modular chamado “*System-Built Homes*” (Figura 03), baseado em unidades espaciais combináveis. Wright realizou experiências com kits de madeira pré-cortada e componentes padronizados, inspirados no modelo de construção *on-site* de *wood framing*. Por fim, Wright manteve o foco na qualidade artesanal e na adaptação ao local, recusando a lógica de padronização impessoal das casas em massa (Smith, 2010).

Figura 03 - American System-Built Houses for The Richards Company project, Milwaukee, Wisconsin (Plan and elevations)



Fonte: WRIGHT, F. L., 1915-17.

Paralelamente, Mies van der Rohe também se interessou pela construção industrializada, embora com outros objetivos. Em vez da produção em massa de habitações acessíveis, buscava a máxima precisão técnica e formal a partir da fabricação padronizada. O uso da estrutura metálica aparente, das fachadas de vidro e dos sistemas modulares fez de seus edifícios ícones da arquitetura moderna. Apesar da inspiração industrial, seus projetos exigiam alto nível de acabamento manual, o que acabou por anular possíveis economias da industrialização (Smith, 2010).

Com o passar dos anos, o desenvolvimento da produção seriada ganha nova escala, especialmente a partir da difusão dos princípios do fordismo. A arquitetura passa a incorporar a lógica industrial, com ênfase na repetição e no controle da produção (Smith, 2010). Essa visão seria fortalecida pelos ideais modernistas, com maior força a partir das décadas de 1920 e 1930, com arquitetos como Le Corbusier defendendo a casa como um “produto de fábrica”, racional, eficiente e universal. A racionalização por meio de componentes padronizados, como janelas, brise-soleils e vedações, apontava para uma arquitetura regida pela eficiência e pela estética funcionalista (Smith, 2010).

A Segunda Guerra Mundial impulsionou essa lógica de forma ainda mais intensa, com a necessidade de reconstrução habitacional rápida em diversos países europeus. Sistemas como o “Camus”, na França (Figura 04), e o modelo britânico das “prefab houses” (Figura

05) tornaram-se referências, especialmente por sua rapidez construtiva e custo reduzido. No entanto, como destaca Smith (2017), os resultados nem sempre corresponderam às expectativas. As construções, embora tecnicamente resolvidas, revelavam um caráter rígido, pouco sensível às especificidades culturais e climáticas de cada local. A padronização excessiva, nesse sentido, acabou por distanciar a arquitetura da vida das pessoas.

Figura 04 - Elementos pré-fabricados do sistema Camus.



Fonte: Passerelles, 2025.

Figura 05 - Construção de pré-fabricados, em Greenwich, 1945.



Fonte: BBC News, 2024

A partir da década de 1990, novas tecnologias começaram a transformar novamente o cenário da construção civil. Conforme destaca Smith (2010), a aplicação de ferramentas digitais como o BIM, a modelagem paramétrica e os sistemas de fabricação computacional viabilizou um novo paradigma: o da customização em massa. Em vez de repetir soluções padronizadas, passou-se a pensar em sistemas flexíveis, adaptáveis a diferentes contextos, mas ainda assim eficientes em termos de produção. No entanto, o simples uso dessas ferramentas não garante, por si só, resultados satisfatórios. Para que a industrialização seja bem-sucedida, é essencial considerar variáveis como cultura local, disponibilidade de mão de obra e condições climáticas, aspectos frequentemente negligenciados por abordagens padronizadas.

Essa necessidade de abordagem contextualizada ganha ainda mais relevância diante do histórico de insucessos da arquitetura industrializada. Muitas críticas são discutidas por Smith (2017), ao analisarem como a arquitetura offsite frequentemente se desconectou das necessidades locais. Smith (2010) reforça que o sucesso desses sistemas depende da consideração de variáveis como local, mão de obra e usuário desde o início do projeto.

No Brasil, a incorporação da pré-fabricação aos programas habitacionais em larga escala foi limitada. Ainda que existam avanços pontuais, a produção de edificações manteve-se majoritariamente baseada em processos realizados no canteiro de obras, com baixa mecanização e dependência de mão de obra intensiva (Castro *et al.*, 2010). Mesmo com avanços pontuais e discursos favoráveis à industrialização da construção, o setor manteve uma lógica produtiva centrada no canteiro, baseada em mão de obra intensiva e baixa mecanização. De acordo com Castro *et al.* (2010), a construção civil brasileira segue como um dos setores menos industrializados da economia nacional, apesar de já dispor de acesso a tecnologias equivalentes às internacionais. Entre os principais entraves estão a baixa produtividade, a resistência de agentes financeiros e clientes às novas tecnologias e a ausência de capacitação técnica na cadeia produtiva.

Uma das experiências mais notáveis, e frequentemente citada na historiografia da arquitetura brasileira, é a do projeto habitacional de Cajueiro Seco, em Pernambuco, no início da década de 1960. Desenvolvida pelo arquiteto Acácio Gil Borsoi no contexto do governo de Miguel Arraes (Souza, 2008, p. 3), essa iniciativa buscou conciliar a pré-fabricação com técnicas construtivas tradicionais como a taipa (Souza, 2008, p. 59). A proposta consistia na produção de painéis de madeira pré-fabricados em uma oficina local, que seriam preenchidos com barro pelos próprios moradores, em um processo de autoajuda e mutirão (Souza, 2008, p. 6). O objetivo era modernizar uma técnica vernácula, tornando-a mais rápida e eficiente, mas sem perder o caráter participativo e a apropriação cultural da população (Souza, 2008, p. 6). A experiência, considerada um paradigma de conciliação entre o moderno e o vernacular, foi interrompida pelo golpe militar de 1964, sem que pudesse ser avaliada plenamente (Souza, 2008, p. 6).

O Banco Nacional da Habitação (BNH), criado em 1964 durante a ditadura militar, estruturou o Sistema Financeiro da Habitação (SFH) e promoveu a produção em larga escala de unidades habitacionais por meio das COHABs e empreiteiras privadas, com padronização

tipológica e repetição construtiva. Segundo Dutra (2012), o modelo se baseava na contratação de grandes construtoras privadas, que padronizavam soluções com foco na escala, mas reproduziam lógicas convencionais de produção nos canteiros.

Nas décadas seguintes, o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e, sobretudo, o Minha Casa Minha Vida (MCMV) (criado em 2009) continuaram a produção habitacional em larga escala. Embora o MCMV tenha, de fato, impulsionado a adoção de tecnologias construtivas otimizadas em alguns casos - como a alvenaria estrutural, que se tornou predominante nos empreendimentos do programa (Baravelli, 2014), e a utilização de argamassas industrializadas (Baravelli, 2014) e concreto auto-adensável (CAA) com formas metálicas (Baravelli, 2014) - a pré-fabricação em larga escala de elementos complexos ou módulos, onde partes inteiras da construção são feitas fora do canteiro, permaneceu escassa e subutilizada. Inovações pontuais, como a "fábrica de lajes" da Cury Construtora (Figura 06), tiveram seu capital desmobilizado, ironicamente, por falta de outros clientes (Baravelli, 2014).

Figura 06 - Pré-fabricação de lajes da Cury Construtora S/A.



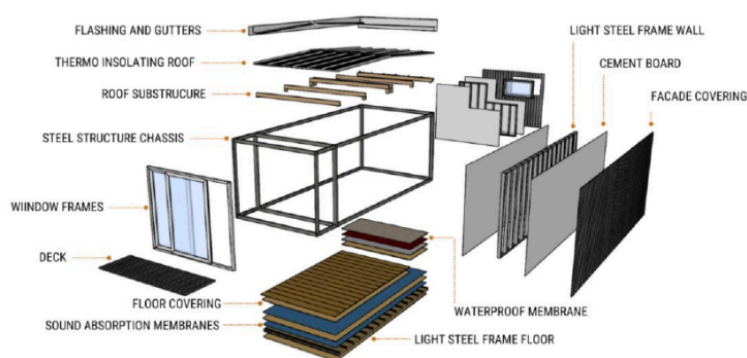
Fonte: BARAVELLI, José Eduardo. **Trabalho e tecnologia no programa MCMV.** São Paulo, 2014. p. 166.

Essa limitação é confirmada pela literatura, que aponta o alto custo inicial da pré-fabricação como um dos principais entraves à sua popularização (Smith, 2010). Embora (Baravelli, 2014) detalhe como a industrialização busca otimizar custos a longo prazo,

especialmente pela redução da dependência de mão de obra intensiva, a absorção de tecnologias de alto investimento inicial, como as fábricas de componentes, frequentemente esbarra na dificuldade de atingir a escala necessária para recuperar o capital investido, um desafio persistente no contexto brasileiro.

Embora a pré-fabricação não tenha sido incorporada de forma significativa aos programas habitacionais em larga escala no Brasil, algumas experiências independentes demonstram sua viabilidade em contextos de pequena escala. Um exemplo documentado é o da startup Cubicon® (figura 07), cuja trajetória foi analisada por Medeiros e Melo (2022) em um estudo de caso. A empresa iniciou sua atuação com módulos residenciais leves voltados a nichos como casas de campo, adotando estratégias como padronização parcial, capacitação técnica e operação com baixo volume de produção, mesmo sem apoio estatal. Outro exemplo é o sistema construtivo desenvolvido pelo Instituto do Bambu, que combina painéis de bambu com microconcreto moldados fora do canteiro e montados de forma leve (ver 1.1.3), com ferramentas manuais e mão de obra local (Silva *et al.*, s.d.). Esses casos indicam que, embora pouco sistematizadas pela literatura especializada, existem iniciativas brasileiras que exploram a pré-fabricação em escalas reduzidas, adaptadas a contextos específicos e viáveis com recursos limitados.

Figura 07: Peças de um módulo residencial da Cubicon®



Fonte: Medeiros e Melo (2022)

Além disso, o mercado de casas pré-fabricadas no Brasil está em crescimento, embora ainda se restrinja a um nicho e esteja longe de ser *mainstream*. O setor, que projeta um crescimento anual de 5,54% até 2029 (Mordor Intelligence, 2023), tem se diversificado em materiais, incluindo painéis de concreto pré-moldado, estruturas leves de aço (steel frame) e

até mesmo contêineres marítimos (TECHOME, 2023; OPUS CONSTRUTECH, [s.d.]; PANORAMA MÓVEIS, 2025). As inovações no mercado são impulsionadas por tecnologias como o BIM, que garantem maior precisão e controle sobre o projeto e a produção, ajudando a superar a desconfiança cultural (IMOBIL REPORT, 2024). No entanto, desafios como a falta de mão de obra especializada e questões logísticas, incluindo o transporte de módulos maiores, continuam a ser barreiras significativas (REVISTA EMPREENDE, 2024; Mordor Intelligence, 2023). Mesmo assim, a popularização de linhas de financiamento específicas para construção em terreno próprio, situação que se alinha à pré-fabricação, demonstra uma tendência de democratização do acesso a esse tipo de moradia (CAIXA, [s.d.]). Contudo, para que a pré-fabricação se viabilize em escala, ela precisa atender aos novos parâmetros de risco e retorno exigidos pelo mercado. O setor, influenciado pela financeirização, busca projetos com maior previsibilidade de custos e redução de prazo. É neste aspecto que a precisão do BIM e a velocidade da pré-fabricação se tornam argumentos econômicos fortes, facilitando a adesão do capital financeiro.

Por fim, cabe também considerar que mesmo diante desses avanços, o desafio de equilibrar padronização e adaptabilidade continua no centro do debate. A industrialização da construção precisa ser compreendida não apenas como uma técnica produtiva, mas como uma estratégia que deve considerar as realidades sociais, climáticas e culturais em que será aplicada. Ferreira (2021, p. 46-49) aponta que o uso do bambu pode ser compatível com sistemas construtivos pré-fabricados, desde que o projeto considere as especificidades do material e as condições locais de implantação. A adoção de ferramentas digitais nesse processo contribui para integrar as etapas de projeto e produção, viabilizando soluções que conciliam precisão técnica e adequação contextual.

1.1.2 DESIGN PARA FABRICAÇÃO E MONTAGEM (*DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY*) APLICADO AO BAMBU

O conceito de *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA) busca integrar as fases iniciais do projeto, as etapas de fabricação e montagem da edificação, com o objetivo de otimizar processos, reduzir desperdícios e facilitar a construção. Essa abordagem parte da

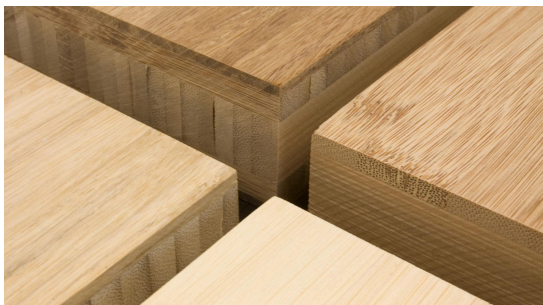
premissa de que o projeto deve ser concebido não apenas sob a ótica da arquitetura, mas também levando em conta as capacidades, limitações e lógicas dos sistemas produtivos envolvidos (Smith, 2010).

Dentro do universo da pré-fabricação, o DfMA promove um planejamento que considera a divisão da edificação em elementos transportáveis, como componentes, painéis e módulos. Esses elementos devem ser pensados de forma a permitir sua produção eficiente fora do canteiro e sua montagem simples e rápida *in loco*. Smith (2010) destaca a importância do planejamento da montagem como etapa essencial do processo de pré-fabricação. A montagem deve ser considerada como parte integrante do projeto desde o início, com atenção às conexões, à sequência de instalação e à acessibilidade no canteiro. Ao se projetar pensando na montagem, é possível reduzir drasticamente o tempo de obra, minimizar interferências e permitir que os elementos se encaixem de forma intuitiva e precisa. Isso implica desenhar componentes que possam ser facilmente manuseados, posicionados e fixados por equipes com diferentes níveis de especialização, reduzindo a dependência de mão de obra qualificada e mitigando erros durante a execução.

A construção em bambu, quando não orientada por processos industrializados, tende a demandar adaptações caso a caso em função das particularidades do material. Nesse sentido, o bambu pode se beneficiar do DfMA como uma abordagem projetual capaz de antecipar e sistematizar essas variabilidades, reduzindo a dependência de soluções improvisadas em obra.

Materiais naturais como o bambu, que possuem particularidades como seções irregulares, comportamento anisotrópico e variações dimensionais significativas, podem se beneficiar de uma abordagem projetual orientada à fabricação, uma vez que essas variáveis precisam ser consideradas desde o início do projeto para garantir encaixes precisos, boa performance estrutural e facilidade de montagem.

Além dos sistemas de painéis de bambu laminado colado (BLC) (figura 08), detalhados por Lima *et al.* (2022), que reforçam a viabilidade técnica e a racionalização do processo construtivo, há também experiências relevantes que exploram o uso do bambu em sua forma bruta, com seção circular (figura 09). Tais abordagens evidenciam que o DfMA pode ser aplicado não apenas a soluções industrializadas com alto grau de padronização, mas também a sistemas modulares artesanais ou híbridos, desde que o projeto incorpore antecipadamente os requisitos de fabricação e montagem.

Figura 08 - *Bambu Laminado Colado*

Fonte: ArchDaily (2020).

Figura 09 - *Estrutura de bambu com seção circular*

Fonte: Dobbins (2018). Foto: Carlos Bañón.

O uso do DfMA no contexto do bambu não significa impor padronizações rígidas, mas sim construir uma lógica de projeto que reconheça as particularidades do material e as traduza em soluções replicáveis, articuladas a processos de fabricação artesanal, semi-industrial ou digital. Quando associada a ferramentas como o BIM, essa abordagem pode favorecer a compatibilização entre projeto e execução, incorporando dados estruturais, logísticos e dimensionais desde a modelagem, o que amplia a viabilidade da pré-fabricação leve em contextos de baixa complexidade. Em síntese, o DfMA aplicado ao bambu permite transformar um material naturalmente irregular em parte de um sistema construtivo mais previsível e controlado, sem descaracterizar suas qualidades. Ao antecipar no projeto as variações e limitações do material, essa abordagem favorece soluções replicáveis e otimizadas, que articulam técnicas artesanais e digitais em favor de uma montagem mais eficiente, precisa e adequada a contextos diversos.

1.1.3 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS: COMPONENTES, PAINÉIS E MÓDULOS

Para compreender as diferentes estratégias envolvidas na pré-fabricação arquitetônica, Smith (2010, cap. 6) propõe uma classificação baseada no grau de complexidade e no nível de acabamento dos elementos que compõem a edificação. Essa categorização distingue três tipos principais de sistemas pré-fabricados: componentes, painéis e módulos sendo que cada uma dessas categorias corresponde a um estágio diferente de industrialização.

Os componentes são os elementos mais simples da cadeia produtiva. Correspondem a peças individuais que, quando reunidas no canteiro, formam os sistemas estruturais ou de vedação. No contexto da construção com bambu, há uma variedade de peças que se encaixam nessa definição. São exemplos colmos tratados com cortes, encaixes (Figura 10) e perfurações previamente definidos, vigas ou pilares formados por agrupamentos de colmos, elementos de cobertura como caibros e ripas, e conexões metálicas padronizadas (como chapas, parafusos e abraçadeiras). Ferreira (2021) descreve sistemas estruturais que utilizam múltiplos colmos interligados por conectores em madeira ou metal, viabilizando tanto a resistência quanto a modularidade. Marçal (2020) também aponta que esses componentes são muitas vezes pré-fabricados em oficina e transportados prontos para o canteiro, permitindo racionalizar a obra mesmo em contextos com infraestrutura limitada. Tais elementos representam a base da lógica da pré-fabricação no bambu, pois permitem repetição e montagem rápida, desde que o projeto preveja dimensões padronizadas e encaixes compatíveis.

Figura 10 - Nó de conexão entre colmos de bambu com peça impressa em 3D



Fonte: Carlos Bañón, 2018.

Os painéis representam um nível intermediário. São elementos bidimensionais, como lajes, paredes ou divisórias, que já saem da fábrica com parte das instalações, acabamentos ou estrutura incorporados. Seu uso busca acelerar a obra ao reduzir o número de operações no canteiro. No caso do bambu, diversas abordagens têm sido exploradas: Painéis estruturais

compostos por bambu e microconcreto, como os desenvolvidos por Silva *et al.* (s.d.) (figura 11), foram concebidos a partir da ideia de associar colmos de bambu a uma base de microconcreto, formando elementos modulares que podem atuar tanto em vedação quanto em função estrutural leve. Esses painéis são moldados em formas pré-definidas com armaduras de bambu inseridas em matriz cimentícia, o que garante uma boa aderência e distribui esforços, permitindo seu uso repetido em módulos de mesma dimensão. A proposta visa facilitar a fabricação seriada, simplificar a montagem e reduzir o peso das peças em comparação a painéis convencionais de concreto armado. Além disso, por serem produzidos em ambiente controlado, os painéis favorecem o controle de qualidade e a incorporação de soluções como dispositivos de encaixe, alinhando-se aos princípios do DfMA.

Figura 11 - Painel pré-fabricado de bambu com microconcreto.



Fonte: Elaborado pelo autor com auxílio da IA Google (2026), a partir de dados de Silva et al. (2022).⁵

Já os painéis de Bambu Laminado Colado (BLC), detalhados por Lima *et al.* (2022) e por Ferreira (2021) (como exemplificados na figura xx), apresentam rigidez, padronização e bom desempenho estrutural, sendo adequados à produção seriada. O Bambu Laminado Colado (BLC), descrito por Ferreira (2021), consiste na colagem de tiras longitudinais de bambu sob pressão, formando painéis padronizados com elevado desempenho estrutural e

⁵ "Conforme previsto no Art. 7º da Resolução CONPEP nº 144, informa-se que a Figura X foi gerada em 04 de fevereiro de 2026 utilizando a ferramenta de IA do Google. O processo consistiu no *upload* da imagem de referência contida no manual de Silva et al. (2022) seguido do seguinte comando (*prompt*): “gere uma imagem com alta definição que mostre apenas um exemplar do que está nessa imagem: é uma treliça de bambu que fica dentro de uma forma e é envolta com concreto, de tal forma que são produzidos peças que podem ser encaixadas e empilhadas para construir paredes”. A imagem resultante foi revisada para garantir a fidelidade técnica ao sistema construtivo proposto."

estabilidade dimensional. Trata-se de um produto industrializado que possibilita uso em paredes, pisos e estruturas modulares, permitindo aplicação em sistemas pré-fabricados com montagem rápida e controle de qualidade em ambiente fabril.

Há ainda soluções como os painéis de vedação leves e forro compostos por tramas ou treliças trançadas de colmos, que podem ser pré-fabricados offsite e transportados prontos para o local da obra. Esses painéis, ao serem produzidos em unidades padronizadas, podem ser facilmente acoplados entre si para formar superfícies contínuas de vedação ou forro.

Um caso notável é o da empresa Bamboo Living Homes, sediada no Havaí, que desenvolve kits habitacionais com estruturas em bambu pré-fabricadas (Figura 12). As edificações são montadas integralmente em fábrica, desmontadas para transporte e remontadas no local definitivo. Segundo a Bamboo Living Homes (2025), o sistema utiliza painéis modulares de bambu projetados para montagem rápida, com alto controle de qualidade e minimização de perdas. Trata-se de um exemplo prático de aplicação da lógica de painéis pré-fabricados ao uso do bambu, articulando eficiência produtiva e flexibilidade de implantação.

Figura 12 - Kit habitacional em bambu com painéis modulares



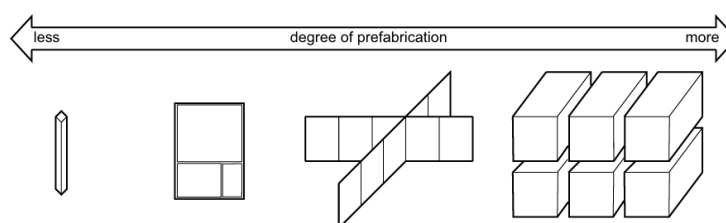
Fonte: Bamboo Living Homes, 2025.

Por fim, os módulos são volumes tridimensionais completos, que podem ser desde partes de cômodos, cômodos inteiros ou mais de um cômodo, pré-montados fora do canteiro de obras, em ambiente controlado de produção, prontos para serem apenas acoplados na obra. Eles integram estrutura, vedação, instalações e acabamento, demandando alto controle de qualidade e transporte especializado. No contexto brasileiro, esse tipo de solução enfrenta ainda restrições logísticas importantes. De acordo com a Resolução CONTRAN nº 882/2021,

as dimensões máximas permitidas para o transporte rodoviário sem necessidade de autorização especial são: largura de até 2,60 metros, altura de até 4,40 metros e comprimento de até 19,80 metros. Módulos de grandes proporções que ultrapassem esses limites estão sujeitos a exigências como escolta, rotas específicas e licenças especiais, o que impacta diretamente na viabilidade econômica e operacional do sistema. No caso do bambu, ainda há poucos exemplos efetivamente implementados nessa categoria. No entanto, o uso de painéis estruturais como os de BLC ou painéis tipo sanduíche permite vislumbrar a criação de módulos que possam ser pré-montados e transportados em unidades maiores, com partes da edificação já integradas, adotando uma lógica de montagem mais próxima de um sistema "lego-like".

A classificação em componentes, painéis e módulos contribui para sistematizar o raciocínio projetual, orientando a escolha da estratégia construtiva mais adequada ao contexto de cada obra (Figura 13).

Figura 13 - Classificação dos elementos de construção conforme seu grau de pré-fabricação, do menos ao mais completo, antes da montagem no canteiro.



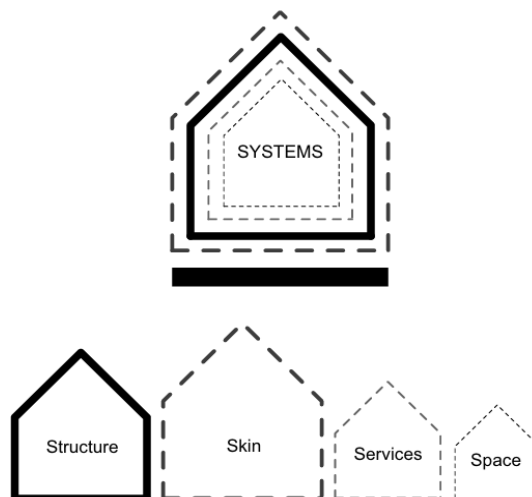
Fonte: Smith, Ryan E. **Prefab architecture: a guide to modular design and construction.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. p. 128.

Além disso, Smith (2010) associa essa lógica das categorias à organização proposta por Stewart Brand, com base nos estudos de Francis Duffy (Figura 14), que divide os edifícios em seis camadas com diferentes taxas de mudança e durabilidade: *Site* (o terreno, considerado eterno), *Structure* (a estrutura principal, com vida útil de aproximadamente 50 anos), *Skin* (a envoltória ou pele, que muda a cada 15-20 anos), *Services* (as infraestruturas prediais como

HVAC⁶ e sistemas de circulação, atualizadas a cada 7-15 anos), *Space* (as divisórias internas e acabamentos, que se alteram em intervalos de três anos) e *Stuff* (os elementos móveis como mobiliário, com mudanças diárias). Essa leitura evidencia que, embora o investimento inicial na estrutura seja alto, os custos acumulados ao longo da vida útil do edifício com serviços e espaços são significativamente maiores (Smith, 2010). Ao associar as camadas propostas por Brand e Duffy aos sistemas pré-fabricados, torna-se possível planejar a construção de forma mais articulada, separando elementos conforme sua função e tempo de vida útil. Essa organização permite, por exemplo, que instalações ou divisórias (*Services* e *Stuff*) sejam substituídas, atualizadas ou adaptadas ao longo do tempo sem a necessidade de intervenções na estrutura principal (*Structure*) ou no terreno (*Site*), o que facilita a manutenção, a longevidade e a adaptabilidade da edificação. Quando integrada ao uso do BIM e aos princípios do DfMA, essa abordagem facilita o detalhamento e a coordenação dos elementos construtivos, antecipando interferências, otimizando o processo de montagem e permitindo ajustes futuros com menor impacto na edificação como um todo.

⁶ HVAC é a sigla em inglês para *Heating, Ventilation and Air Conditioning* (aquecimento, ventilação e ar condicionado), referindo-se a sistemas integrados responsáveis pelo controle térmico e da qualidade do ar em ambientes internos (TRANE, s.d.).

Figura 14 - O edifício como diferentes camadas



Fonte: Smith, Ryan E. **Prefab architecture:** a guide to modular design and construction. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. p. 100.

1.1.4 CUSTOMIZAÇÃO EM MASSA E ADAPTABILIDADE

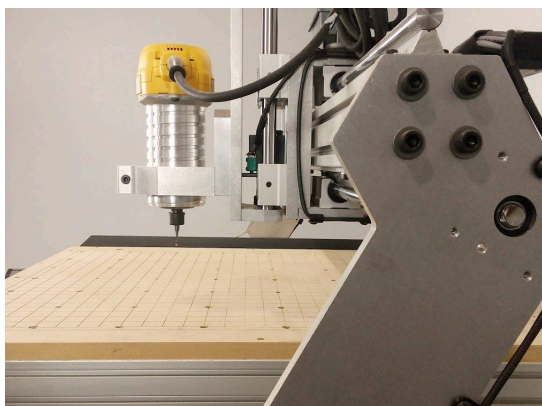
Conforme aponta Smith (2010), a ideia de customização em massa busca unir a lógica da produção em série com a possibilidade de adaptações do projeto conforme o contexto. Embora a customização não seja exclusiva da produção digital, ela ganhou escala e precisão menos alcançadas anteriormente. A partir da década de 1990, a introdução de ferramentas digitais tornou possível romper com os modelos engessados da industrialização do pós-guerra e adotar estratégias projetuais mais flexíveis. Em vez de repetir o mesmo modelo diversas vezes, passa a ser possível repetir com variações pontuais, adições ou remoções de características, mantendo o controle produtivo sem perder em qualidade arquitetônica.

Smith (2010) aponta que essa mudança só se concretizou quando projeto e fabricação passaram a caminhar juntos, com o apoio de ferramentas como o CAD e o uso de máquinas CNC⁷ (Figura 15), que trouxeram mais precisão e repetibilidade para o processo. Hoje, o BIM aprofunda essa integração ao reunir no mesmo modelo as informações geométricas, técnicas e produtivas da edificação. Isso permite que os profissionais envolvidos no projeto visualizem com mais clareza cada etapa da montagem e consigam prever interferências ou testar

⁷CNC (Computer Numerical Control): tecnologia que aciona máquinas-ferramenta por instruções numéricas em múltiplos eixos, permitindo cortes e usinagens de alta precisão a partir de modelos digitais (Autodesk, [s.d.]).

alternativas antes da execução. Com isso, é possível ajustar o projeto às condições do terreno, ao programa e ao clima local, sem abrir mão da organização produtiva típica da pré-fabricação.

Figura 15 - Máquina CNC de precisão para corte e usinagem controlados digitalmente



Fonte: BIM (PROBOTIX, 2025)

No caso do bambu, a customização em massa mostra-se particularmente adequada, já que suas variações naturais de geometria e desempenho exigem uma abordagem projetual mais flexível. Em função das variações geométricas e físicas dos colmos, projetar com bambu requer que essas diferenças sejam consideradas como condicionantes desde as etapas iniciais do projeto, conforme discutido por Ferreira (2021).

Além disso, o uso de painéis de bambu trançado, BLC ou painéis sanduíche permite desenvolver soluções adaptáveis de vedação e cobertura, que respeitam as condicionantes locais sem abrir mão da lógica seriada. Moreira (2022) aponta que os painéis estruturais em bambu com microconcreto, por serem modulares, permitem acomodar diferentes implantações e configurações tipológicas, o que amplia a flexibilidade do sistema construtivo e facilita ampliações posteriores.

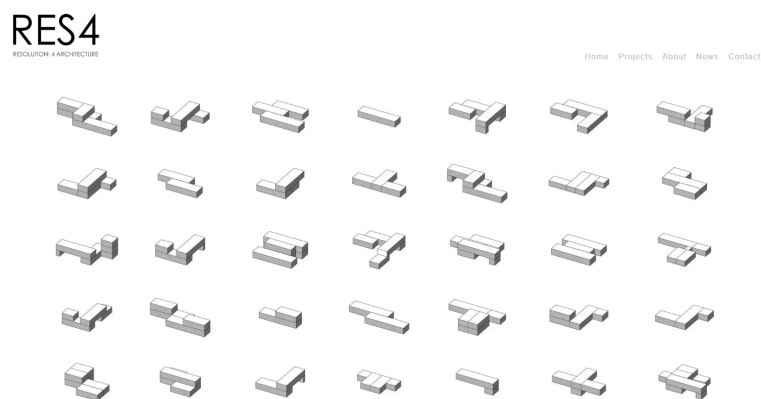
Em síntese, a customização em massa não se opõe à pré-fabricação, mas a potencializa. Ao invés de padronizar tudo, permite padronizar o que faz sentido e adaptar o necessário. A integração entre ferramentas digitais e processos modulares permite desenvolver soluções adaptáveis, compatíveis com distintas condições de implantação, sem comprometer o controle produtivo da pré-fabricação (Smith, 2010).

Um exemplo prático dessa abordagem é o trabalho desenvolvido pelo escritório *Resolution: 4 Architecture®*, que, segundo Smith (2010, cap. 9.2), aplica os princípios da

customização em massa por meio do sistema *Modern Modular*®. A lógica modular aplicada pela Resolution: 4 Architecture® parte da organização dos espaços residenciais em unidades padronizadas denominadas "*Modules of Use*", formadas a partir da junção de componentes com funções específicas (Figura 16). Esses módulos são agrupados segundo três categorias principais de uso: social, privado e acessório. Cada módulo é concebido com base nas dimensões ideais para a fabricação em ambiente fabril, respeitando os limites máximos de largura e comprimento compatíveis com o transporte e o processo de montagem. O agrupamento desses módulos possibilita a criação de layouts lineares ou combinados, conforme a demanda do cliente, permitindo a personalização das habitações sem comprometer a eficiência do sistema pré-fabricado (Figura 17). Assim, os "*Modules of Use*" atuam como blocos conceituais que estruturam as casas customizadas, articulando espacialidade, padronização e lógica industrial (Resolution: 4 Architecture®, 2023).

Essa lógica de projeto permite responder a diferentes programas, lotes e orçamentos com soluções variadas a partir de um mesmo conjunto produtivo. O sistema mostra, na prática, que é possível adotar uma lógica industrial sem engessar o projeto. Ao trabalhar com módulos fixos, mas configuráveis entre si, o arquiteto consegue atender a diferentes demandas de implantação e uso, mantendo o controle industrial sem engessar a linguagem do projeto.

Figura 16 - "*Modules of use*": Os módulos podem ser combinados de diferentes formas para gerar layouts variados.



Fonte: Resolution: 4 Architecture® (2025)

Figura 17 - Exemplo de casa pré-fabricada pelo *Resolution: 4 Architecture*®



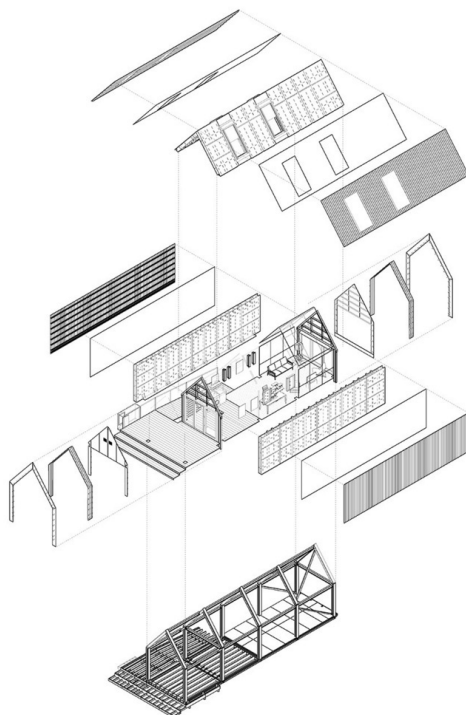
Fonte: *Resolution: 4 Architecture*® (2025)

1.1.5 SUSTENTABILIDADE E *DESIGN FOR DECONSTRUCTION*

Embora muitas vezes associada à busca por produtividade, a arquitetura pré-fabricada também oferece caminhos relevantes no campo ambiental. Produzir fora do canteiro (*off-site*) permite maior controle sobre o uso de materiais, reduz desperdícios e favorece um melhor aproveitamento dos recursos. Além disso, os sistemas industrializados costumam demandar menos energia no processo de montagem, o que diminui os impactos locais da obra.

Smith (2010, cap. 11) destaca que racionalizar o sistema construtivo não precisa estar em oposição à agenda ambiental. Pelo contrário, essa racionalização pode caminhar junto da redução da pegada de carbono, da escolha por materiais renováveis e de soluções que priorizem durabilidade e possibilidade de desmontagem. Nesse contexto, ganha importância o conceito de *design for deconstruction (DfD)*, que propõe pensar o projeto desde o início de modo a facilitar a desmontagem (Figura 18), o reaproveitamento e a reciclagem dos componentes. Trata-se de uma abordagem que prolonga a vida útil dos materiais e colabora com a lógica da Economia Circular dentro da construção civil. A circularidade se manifesta, no projeto com bambu, em duas frentes: a biológica, pelo uso de um material renovável e de rápida regeneração; e a técnica, ao priorizar conexões reversíveis que garantem a integridade dos componentes para um ciclo futuro de reutilização.

Figura 18 - Vista explodida de sistema modular desmontável



Fonte: Arup Associates, 2017.

Quando aplicada ao uso do bambu, a abordagem do *design for deconstruction* evidencia a possibilidade de empregar o material em sistemas reversíveis, com foco na reutilização e desmontagem dos elementos construtivos. Por ser renovável, de crescimento rápido e com propriedades compatíveis com soluções modulares, o bambu pode ser integrado a estratégias de desmontabilidade e reaproveitamento, em alinhamento com princípios de circularidade e redução de resíduos (Smith, 2010, cap. 11).

1.2 O BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL BRASILEIRA

1.2.1 ESPÉCIES RELEVANTES E APLICAÇÕES

No Brasil, três espécies se destacam por seu uso na construção civil. A *Guadua angustifolia* (Figura 19), nativa da América do Sul, possui colmos espessos e elevada

resistência à compressão paralela, superando os 40 MPa. Seu uso é difundido na construção civil da Colômbia e Equador, e pode-se constatar sua aplicação em pórticos, painéis estruturais e sistemas treliçados (Ferreira, 2021, p. 35). A *Dendrocalamus giganteus* (Figura 20), originária da Ásia, pode atingir mais de 200 mm de diâmetro e possui colmos de paredes espessas, sendo, portanto, adequada para elementos estruturais de grande vão, desde que tratada corretamente (Ferreira, 2021, p. 36). Por fim, a *Bambusa vulgaris* (Figura 21), de ampla distribuição no território brasileiro, é de fácil manejo e crescimento rápido, apesar de possuir geometria com de forma com conicidade mais acentuada e curvatura mais acentuada. Essa espécie, devido às suas características geométricas é mais indicada para o uso em fechamentos leves, painéis, tramas e mobiliário (Ferreira, 2021, p. 38). A escolha entre essas espécies deve depender da combinação entre esforço mecânico exigido, dimensões de projeto, viabilidade de acesso ao material e resistência à umidade, já que cada uma reage de forma diferente às variações ambientais e de carga (Marçal, 2020, p. 7-9).

Figura 19 - *Guadua angustifolia*



Fonte: NÚÑEZ-RETANA, Victor Daniel.

Figura 20 - *Dendrocalamus giganteus*



Fonte: FLORA DIGITAL

Figura 21 - *Bambusa vulgaris*



Fonte: GARDENIA.NET.

1.2.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS, TRATAMENTOS E MATERIAIS ENGENHEIRADOS

Quando adequadamente seco e tratado, o bambu exibe desempenho estrutural semelhante ao de madeiras leves. Colmos inteiros de *Guadua angustifolia*, por exemplo, podem atingir 40 MPa em compressão, enquanto tiras sem nós alcançam 245 MPa em tração (MOIZÉS, 2007). Essas propriedades decorrem da alta concentração de fibras na parede externa, que só se preservam com proteção contra umidade e agentes biológicos.

O tratamento mais comum no Brasil é a imersão em solução de ácido bórico e bórax por até dez dias (Figura 22), que reduz o teor de açúcares e dificulta a ação de fungos (Marçal, 2020).

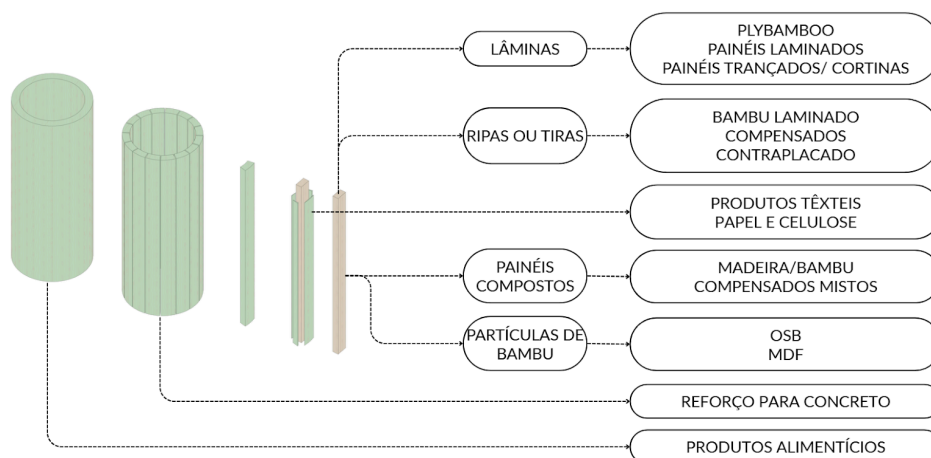
Figura 22 - Reservatório para tratamento de bambu por imersão com uso de bórax e ácido bórico



.Fonte: Ferreira, Rodrigo Pedra (2021, p. 48).

O bambu pode ser transformado em uma ampla variedade de produtos industrializados, incluindo painéis laminados, Plybamboo, painéis trançados/cortina e compensados contraplacados, obtidos a partir de lâminas, ripas ou tiras. Partículas de bambu são usadas para criar painéis compostos como OSB e MDF, e o material também pode ser processado para produzir papel, celulose e produtos têxteis. Além disso, o bambu pode ser utilizado como reforço para concreto e em produtos alimentares (Figura 23).

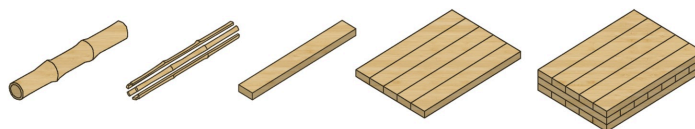
Figura 23 - Principais produtos industrializados do bambu.



Fonte: Diagrama produzido pelo autor com base no diagrama disponível em Ferreira, Rodrigo Pedra (2021, p. 51).

A alta concentração de fibras na parede externa é a razão pela qual o bambu, quando seco e tratado adequadamente, apresenta um desempenho estrutural comparável ao de madeiras leves. O Bambu Laminado Colado (BLC) (Figura 24), por exemplo, obtido a partir de tiras prensadas com resorcinol-formaldeído, apresenta módulo de elasticidade de cerca de 11 GPa e resistência à compressão superior a 70 MPa (Beraldo; Rivero, 2003). Além da resistência, o BLC garante maior regularidade geométrica, o que permite o uso de conexões metálicas padronizadas e reduz o tempo de montagem. Estudos nacionais também demonstraram que a adição de taliscas tratadas a elementos de concreto pode elevar a resistência à tração em cerca de 20%, sem prejuízo à rigidez estrutural (MOIZÉS, 2007).

Figura 24 - Diagrama do processo de laminação e colagem do bambu.



Fonte: Fonte: FRANCO, 2020.

1.2.3 NORMALIZAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA

Embora o uso do bambu na arquitetura e na engenharia brasileiras ainda seja limitado, o desenvolvimento de normas técnicas específicas tem contribuído para sua padronização e viabilizado aplicações com maior segurança. A ABNT NBR 16828-1/2:2020 estabelece métodos de ensaio, coeficientes de projeto e requisitos de durabilidade para colmos inteiros. Já a ABNT NBR 17043:2023 define critérios de colheita, tratamento preservativo e classificação pelo diâmetro de varas destinadas a uso estrutural. Ainda não há norma brasileira para elementos laminados, razão pela qual projetistas têm combinado a ABNT NBR 7190:1997, voltada à madeira, com normas internacionais como a ISO 16696-1:2019, que trata de painéis de madeira laminada cruzada (CLT⁸), e a ISO/DIS 7567, que especifica requisitos para bambu laminado colado de uso estrutural. A infraestrutura de ensaio, porém, permanece limitada: “até o momento, no entanto, somente dois laboratórios estão capacitados para realizar ensaios em escala real com protótipos estruturais” (Ferreira, 2021, p. 84), o que dificulta a validação de novas soluções construtivas.

1.2.4 CADEIA PRODUTIVA E PANORAMA NACIONAL

Ferreira (2021, p. 112) aponta que o Brasil possui grande diversidade de espécies de bambu distribuídas em todo o território nacional. Mesmo assim, as plantações voltadas para uso comercial ainda são raras. As poucas plantações em grande escala geralmente utilizam espécies produtivas e de crescimento controlado, como aquelas dos gêneros *Bambusa* e *Dendrocalamus*.

Apesar da ampla presença do bambu no país, o setor enfrenta sérios desafios para se consolidar na construção civil. Um dos principais problemas é a falta de estrutura básica. São raras as unidades com equipamentos adequados para tratar, secar e beneficiar os colmos, o que impede a padronização do material. Além disso, os colmos costumam ser vendidos sem informações claras sobre sua origem, o que inviabiliza o controle de qualidade e dificulta a emissão de certificações técnicas (Ferreira, 2021, p. 45-48).

⁸ *Cross-Laminated Timber (CLT) é um painel estrutural de madeira engenheirada formado por camadas de madeira maciça coladas perpendicularmente, resultando em peças rígidas e estáveis usadas como lajes, paredes ou cobertura em sistemas pré-fabricados* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2019).

Outro ponto crítico é a falta de articulação entre as etapas de produção. Cultivo, tratamento e beneficiamento funcionam de forma desconectada, o que compromete a regularidade do fornecimento e limita o uso do bambu em processos construtivos mais industrializados (Ferreira, 2021, p. 48). Sem controle sobre dimensões, tratamento ou rastreabilidade, o material não atende aos padrões exigidos em projetos técnicos mais rigorosos.

A Colômbia oferece um exemplo funcional de cadeia organizada. A espécie nativa *Guadua angustifolia* (também conhecida como taboca ou bambu colombiano) é cultivada em larga escala, tratada em unidades regionais e regulada por norma específica: o Capítulo G.12 da NSR-10⁹, que define critérios técnicos para o uso da guadua como elemento estrutural (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010). O país conta com viveiros especializados, sistemas de certificação e programas de capacitação, o que garante previsibilidade e segurança no uso do material em obras permanentes (Ferreira, 2021, p. 46-48).

Segundo Ferreira (2021, p. 48-49), o avanço do bambu em sistemas pré-fabricados depende da articulação entre etapas produtivas, da implantação de infraestrutura voltada à padronização e da capacitação técnica adequada ao uso em processos industrializados. Sem essas ações coordenadas, o uso do material continuará restrito a experiências isoladas, sem viabilidade para integração em sistemas construtivos seriados ou com escala de produção.

⁹ A NSR-10 é o Regulamento Colombiano de Construções Sismo-Resistentes; o Capítulo G.12 define requisitos técnicos para o uso estrutural da guadua (bambu) em edificações (ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, 2010).

1.3 BIM E MODELAGEM DIGITAL NA ARQUITETURA COM BAMBU

1.3.1 BIM COMO PLATAFORMA PARA PRÉ-FABRICAÇÃO

O uso do BIM (*Building Information Modeling*) na arquitetura pré-fabricada se consolida como uma ferramenta para organização e coordenação de projeto. Além de suprir a demanda de modelagem tridimensional, o BIM permite integrar em um único ambiente digital informações sobre materiais, etapas de obra, planejamento, custos e logística. Isso facilita a compatibilização entre disciplinas e ajuda a reduzir retrabalhos, principalmente em obras com elementos produzidos fora do canteiro. Para este trabalho, optou-se por utilizar o software BIM Autodesk® Revit®, da Autodesk®, por sua ampla adoção no setor e capacidade de integração com fluxos de produção digital (Autodesk, 2023).

Smith (2010) destaca que esse tipo de planejamento antecipado, chamado de "*front-loading*", melhora o desempenho geral do processo construtivo. Em sistemas industrializados, onde componentes são produzidos em série, essa previsibilidade é essencial.

1.3.2 AUTOMATIZAÇÃO COM DYNAMO®

O Dynamo®, ferramenta de automação visual integrada ao Autodesk® Revit®, destaca-se pelo potencial de agilizar tarefas repetitivas no modelo. Aplicado ao contexto do bambu, suas funcionalidades podem ser exploradas para aprimorar a gestão da informação e a organização do arquivo, transcendendo a modelagem geométrica básica. A ferramenta oferece recursos que viabilizam a automação da catalogação de peças: scripts podem ser desenvolvidos para atribuir códigos de identificação (IDs) baseados em diâmetro e comprimento, gerando inventários precisos. Adicionalmente, o Dynamo® apresenta capacidade para padronizar o ambiente digital, permitindo a organização sistemática de vistas e folhas. Vale (2022) aponta que o uso dessas rotinas reduziu o tempo de montagem em sistemas prediais em 40%. Essa potencialidade de automação favorece ainda o aproveitamento de material através de testes de cortes otimizados, alinhando-se à

personalização em massa (Smith, 2010), onde a tecnologia permite adaptar elementos padronizados sem perda de eficiência.

1.3.3 MODELAGEM DE SISTEMAS DE BAMBU NO Autodesk® REVIT®

A aplicação do BIM a sistemas construtivos em bambu exige o uso de modelagem paramétrica, uma vez que cada colmo apresenta variações naturais em diâmetro, comprimento e disposição dos nós. Nesse contexto, o uso de famílias adaptativas¹⁰ no Autodesk® Revit® tem sido explorado como estratégia para compatibilizar essas variações com a lógica digital do projeto (Silva *et al.*, s.d.).

A lógica paramétrica já foi testada em outros contextos. Carvalho (2016, p. 55) desenvolveu uma biblioteca de elementos pré-moldados em concreto para uso no Autodesk® Revit®, alinhando suas dimensões às especificações de mercado. Vale (2022), em pesquisa realizada em Portugal, aplicou o mesmo princípio a módulos de instalações hidráulicas e elétricas, mostrando que esse tipo de modelagem pode reduzir significativamente o tempo de documentação e melhorar a precisão no encaixe dos componentes.

1.3.4 BIM-TO-FABRICATION E INTEROPERABILIDADE

Em projetos com pré-fabricação, o modelo BIM pode ser usado para gerar diretamente os dados necessários à produção dos componentes. A abordagem chamada *Concept to Fabricate*, proposta pela Autodesk®, parte do modelo desenvolvido no Autodesk® Revit® e avança para o Inventor¹¹, onde as peças são detalhadas para fabricação (Autodesk

¹⁰ No Revit®, “famílias” são elementos paramétricos que compõem o modelo e armazenam suas características geométricas e de informação. Podem representar desde objetos simples, como móveis e luminárias, até sistemas complexos, como portas, janelas ou componentes estruturais. Famílias adaptativas são um tipo específico de família que permite a criação de geometrias que se adaptam a múltiplos pontos de referência no espaço, sendo particularmente úteis em projetos com formas não convencionais ou componentes que precisam se ajustar a condições variáveis de posicionamento e inclinação (Autodesk, 2023).

¹¹ O Inventor é um software de modelagem 3D paramétrica voltado para engenharia mecânica e desenvolvimento de produtos, também desenvolvido pela Autodesk. Ele permite detalhar peças, montar conjuntos e simular mecanismos com alta precisão, sendo amplamente utilizado na preparação de componentes

UNIVERSITY, 2020). Isso inclui a definição de folgas, tolerâncias e encaixes específicos, que consideram as limitações das máquinas e os métodos de montagem adotados. O Inventor, por sua vez, exporta arquivos para equipamentos de corte e montagem automatizados, como máquinas CNC e sistemas robotizados. Esse fluxo evita retrabalho e elimina a necessidade de documentação técnica paralela (Autodesk UNIVERSITY, 2020).

Estudos mais recentes reforçam esse potencial integrador do BIM quando combinado ao Dynamo®¹². Em um projeto de biblioteca pública em Charlotte (EUA), os autores modelaram os elementos principais no Autodesk® Revit®, transferiram os arquivos para o Inventor para detalhamento de fabricação e, com um script no Dynamo®, mantiveram as alterações sincronizadas ao longo do processo. O resultado foi um conjunto de peças entregues prontas para montagem, com encaixes precisos e nenhuma necessidade de ajustes em obra (Autodesk UNIVERSITY, 2024). Já em empreendimentos hoteleiros, a mesma lógica foi aplicada com foco em módulos volumétricos: cada quarto foi modelado no Autodesk® Revit®, ajustado conforme acabamentos e aberturas, e o Dynamo® gerou automaticamente etiquetas de transporte e listas de materiais. No canteiro, os quartos chegaram prontos, bastando serem conectados a pontos pré-definidos (Autodesk UNIVERSITY, 2023).

Além do detalhamento físico, o modelo também pode ser vinculado ao cronograma e ao orçamento, o que facilita o planejamento da produção e a entrega dos módulos conforme a necessidade da obra. Estudos como Cabral e Moura (2024) mostram que o uso de etiquetas RFID associadas às peças fabricadas e ao modelo digital permite rastrear os componentes desde a produção até a montagem no canteiro, proporcionando maior controle e precisão ao processo construtivo. Bezerra *et al.* (2018) reforçam que essa coordenação é essencial para evitar problemas logísticos em sistemas com montagem sequencial.

O uso de modelagem paramétrica no ambiente BIM viabiliza a integração dos fluxos de produção digitais, desde que os componentes sejam corretamente especificados e parametrizados (LIMA *et al.*, 2022; Silva *et al.*, s.d.). O BIM, nesse contexto, atua como uma

para fabricação digital, como corte CNC e usinagem. Em fluxos integrados com o Revit®, o Inventor pode ser utilizado para ajustar detalhes técnicos que exigem maior controle dimensional (Autodesk, 2023).

¹² O Dynamo® é uma ferramenta de programação visual integrada ao Revit® que permite automatizar tarefas repetitivas, criar geometrias paramétricas complexas e manipular dados do modelo BIM por meio de scripts baseados em lógica de nós. Sua aplicação é especialmente útil em fluxos de trabalho com alto grau de repetição ou customização, como na pré-fabricação de componentes parametrizados (Autodesk, 2023).

ferramenta de organização e controle técnico, contribuindo para o uso mais racional dos recursos e para a integração entre projeto, fábrica e canteiro.

CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DE REFERÊNCIAS PROJETOAIS

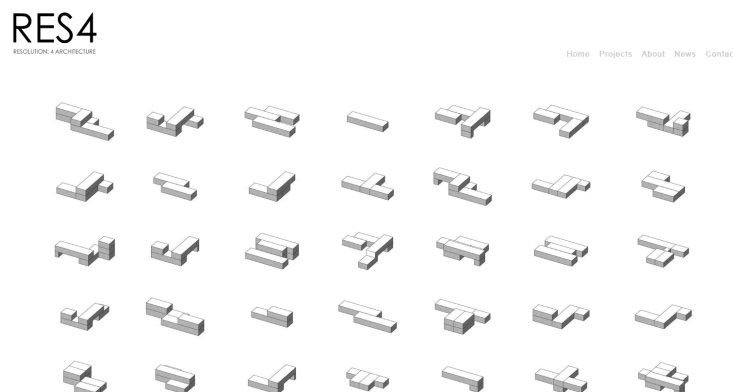
2.1 ANÁLISE DE PROJETOS, ESCRITÓRIOS E EMPRESAS RELACIONADAS AO TEMA

Os casos analisados neste capítulo foram escolhidos por explorarem duas vertentes cruciais para o desenvolvimento do TFG2: (1) o uso de bambu em sistemas pré-fabricados (Cubos Modular e Bambugalô), que valida o material e o modelo de negócio no contexto nacional e filipino; e (2) a aplicação de fluxos *BIM-to-Fabrication* e Customização em Massa em arquitetura *off-site* (*Modern Modular*® e Eco-House 3.0). Os casos que não empregam bambu, como o *Modern Modular*® e a Eco-House 3.0, são incluídos para extrair o rigor técnico e a precisão do fluxo digital que se almeja para o sistema com bambu, servindo de referência metodológica para o desenvolvimento do *template* paramétrico no Autodesk® Revit®.

2.1.1 *MODERN MODULAR*® - RESOLUTION: 4 ARCHITECTURE® (ESTADOS UNIDOS)

A metodologia *Modern Modular*® segue o princípio da *mass customisation*. Utiliza barras modulares (Figura 25) de 4,9 m × 18,3 m, correspondentes aos limites logísticos do Departamento de Transporte dos Estados Unidos. Esses “módulos de uso” (cozinha-jantar-estar ou dormitórios-banheiros) podem ser combinados em geometrias simples, duplas ou em formatos em L e Z, permitindo layouts adaptáveis ao terreno, ao programa e ao orçamento do cliente (Resolution: 4 Architecture®, 2025).

Figura 25 - Captura de tela com variações compositivas dos módulos
Modern Modular®



Fonte: Resolution: 4 Architecture® (2025)

O sistema demonstra elevada adaptabilidade territorial (Figura 26), já aplicado em mais de 120 residências de Maine ao Havaí, sempre com ajustes relacionados às legislações de zoneamento, à topografia e à orientação solar (Resolution: 4 Architecture® , 2025). A repetição padroniza componentes e reduz erros e desperdícios. A fabricação em série viabiliza produção em massa e menor custo por unidade. A precisão dimensional garante intercambialidade, com encaixes sem retrabalho em canteiro, conforme mostrado na Figura 21 (Resolution: 4 Architecture® , 2018).

Figura 26 - Instalação de módulo pré-fabricado (*North Fork Bluff House*)



Fonte: Resolution: 4 Architecture® (2017)

A montagem *off-site* realizada por fábricas como a Simplex Homes® encurta prazos e diminui resíduos, resultando em melhor impacto ambiental. Muitos projetos buscam certificação LEED e integram painéis solares ou sistemas geotérmicos (Resolution: 4 Architecture® , 2025). Embora o site não mencione explicitamente o uso de BIM, o fluxo descrito ressalta a integração entre projeto digital, fábrica e montagem precisa.

Figura 27 - Detalhes de painéis pré-fabricados de deck e fechamento de fachada na *North Fork Bluff House*



Fonte: Resolution: 4 Architecture® (2017)

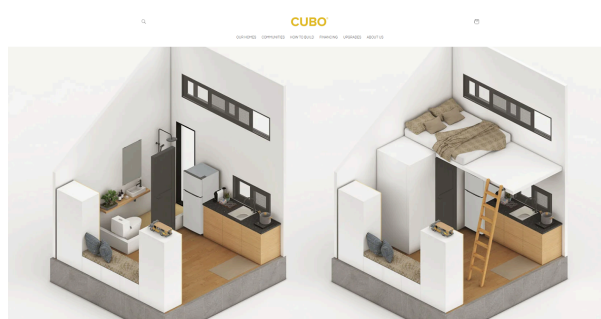
Este projeto demonstra, na prática, a viabilidade da customização em massa aliada à pré-fabricação. Ele indica como sistemas modulares podem ser adaptados para diferentes contextos - o tipo de adaptabilidade almejada para o bambu pré-fabricado neste TFG. A experiência da Resolution: 4 Architecture® valida a premissa de que é possível combinar eficiência industrial com flexibilidade projetual, um aprendizado crucial para o desenvolvimento do *template* paramétrico em bambu.

2.1.2 CUBO MODULAR INC. (FILIPINAS)

A *Cubo Modular INC.* surgiu em Manila com a proposta de levar o bambu engenheirado para dentro de um fluxo de pré-fabricação ajustado à realidade filipina. Seus kits residenciais se baseiam em um grupo padronizado de painéis de piso, forro, fechamentos e caixilhos de alumínio. Essa estratégia reduz custos por unidade e mantém a precisão

dimensional exigida por um processo industrializado (CUBO MODULAR INC., 2025a). Ao mesmo tempo, o catálogo oferece modelos de 20 m² a 95 m² e um configurador *on-line* oferece ao cliente personalização na escolha de acabamentos, painéis solares ou sistemas de climatização. Dessa combinação de padronização e variação controlada (Figura 28) resulta a possibilidade de reproduzir o sistema em contextos urbanos, litorâneos ou rurais, sem perder desempenho. Até o momento, a empresa registra implantações em vinte e quatro províncias com climas e topografias distintos, evidenciando adaptabilidade territorial e replicabilidade do sistema (CUBO MODULAR INC., 2025b).

Figura 28 - Corte isométrico do modelo Bulacan, kit residencial em bambu



Fonte: CUBO MODULAR INC. (2025)

O uso exclusivo de bambu (laminado), material de rápido crescimento e baixo teor de carbono, reforça a lógica ambiental da Cubo. A montagem seca reduz a geração de resíduos no canteiro, e a oferta de kits fotovoltaicos ou estratégias de ventilação cruzada amplia o desempenho energético das unidades. A própria empresa ressalta que suas casas visam coexistir com a natureza, não substituí-la (CUBO MODULAR INC., 2025a). No plano social, a Cubo articula o espírito comunitário filipino do *bayanihan*¹³ ao firmar parcerias com o fundo habitacional *Pag-IBIG*¹⁴, facilitando o financiamento para famílias de renda média e baixa (CUBO MODULAR INC., 2025c).

¹³ *Bayanihan* é o conceito filipino de auxílio comunitário voluntário, no qual vizinhos se unem para realizar tarefas coletivas, tradicionalmente simbolizado pelo transporte de casas sobre estacas (NATIONAL COMMISSION FOR CULTURE AND THE ARTS, 2023).

¹⁴ Pag-IBIG: fundo habitacional filipino (Home Development Mutual Fund) que oferece financiamento subsidiado para moradia.

Por fim, embora o site não mencione explicitamente o uso de BIM, o percurso digital de escolha do modelo, parametrização de opcionais e cálculo automático de frete e prazo sugere uma cadeia integrada entre concepção, fabricação e logística. Essa interface confirma o potencial de ferramentas digitais para sustentar a precisão e a flexibilidade necessárias à pré-fabricação em bambu, tal como discutido por Smith (2010) no contexto da industrialização da construção.

A experiência da Cubo Modular confirma que o uso de bambu engenheirado em componentes repetitivos pode atender a diversas demandas habitacionais, reforçando a hipótese de que a pré-fabricação leve com bambu é replicável em larga escala. O percurso digital da empresa, embora não mencione explicitamente BIM, sugere uma cadeia integrada entre concepção, fabricação e logística, que é fundamental para a precisão e flexibilidade necessárias à pré-fabricação em bambu.

2.1.3 MODELO BRISA - BAMBUGALÔ (BRASIL)

O modelo Brisa é um bangalô pré-fabricado composto por painéis estruturais de bambu tratado produzidos *off-site* (Figura 29). O sistema inclui projeto arquitetônico, cálculo estrutural, projetos de instalações, manual de operação e manutenção e equipe de montagem, formando um pacote único de fornecimento (BAMBUGALÔ, 2024). A fabricação em oficina garante tolerâncias dimensionais controladas, o que confere padronização e permite replicabilidade em diferentes lotes. A empresa afirma que o método foi desenvolvido para adaptar-se a diversos terrenos, indicando adaptabilidade territorial (BAMBUGALÔ, 2024).

Figura 29 - Vista frontal do modelo Brisa



Fonte: BAMBUGALÔ (2024)

O emprego de bambu tratado, executado em parceria com a Bioestrutura Engenharia, reduz a pegada de carbono, atendendo ao critério de impacto ambiental e assegurando desempenho estrutural e durabilidade. Apesar de o site não mencionar BIM, a integração entre projetos, fabricação e montagem sugere um fluxo de dados centralizado compatível com a otimização por ferramentas digitais proposta neste trabalho.

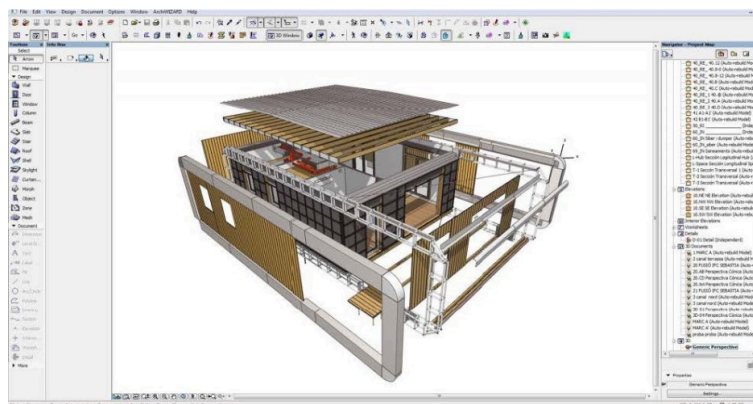
O Modelo Brisa da Bambugalô serve como uma referência prática que valida a aplicação de pré-fabricação com bambu em um modelo de negócio completo. Este caso reforça a viabilidade de se oferecer soluções habitacionais pré-fabricadas em bambu com adaptabilidade territorial, contribuindo diretamente para os objetivos de replicabilidade e aplicação em diversos contextos do TFG.

2.1.4 ECO-HOUSE 3.0 - NOEM (ESPANHA)

A Eco-House 3.0 foi modelada no Archicad¹⁵ (Figura 30) como dois módulos de madeira laminada colada, medindo $9 \times 4,5$ m e 9×3 m, que totalizam 96 m². Enquanto as fundações eram executadas no terreno, a fábrica produziu estrutura, caixilharia e instalações. O cronograma somou quatro semanas de projeto, cinco de fabricação paralela e uma de montagem (GRAPHISOFT, 2015).

Figura 30 - Modelo 3D de casa modular da NOEM no Archicad, com componentes pré-fabricados detalhados.

¹⁵ Archicad: software BIM desenvolvido pela Graphisoft para modelagem, documentação e coordenação de projetos arquitetônicos em ambiente tridimensional integrado (GRAPHISOFT, [s.d.]).



Fonte: Graphisoft (2025)

O modelo BIM passou por coordenação em formato IFC¹⁶ e seguiu para corte em máquinas CNC, o que eliminou ajustes no canteiro, assegurou padronização dimensional e manteve a intercambialidade das peças. A composição construtiva emprega painéis de CLT com 81 mm, isolamento em fibra de madeira de 16 cm e fachada ventilada em *Pinus nigra*, atendendo a metas *passive house*¹⁷ e possibilitando replicação em diferentes contextos climáticos. O mesmo arquivo foi disponibilizado aos proprietários no BIMx¹⁸, permitindo validação virtual antes da fabricação, fato que reafirma o papel das ferramentas digitais na integração entre projeto, produção e obra. A montagem a seco, aliada ao uso de madeira certificada, reduz resíduos e emissões, cumprindo o critério de impacto ambiental estabelecido no trabalho.

Embora a Eco-House 3.0 não utilize bambu, sua inclusão é crucial para o TFG, pois demonstra a aplicação avançada de fluxos *BIM-to-Fabrication* e a coordenação digital em sistemas pré-fabricados de madeira. As lições extraídas deste caso, como a precisão dimensional via CNC, a interoperabilidade com IFC e o conceito de "*passive house*", são diretamente aplicáveis ao desenvolvimento de um *template* paramétrico em Autodesk®

¹⁶ IFC (Industry Foundation Classes): formato aberto de interoperabilidade BIM mantido pela buildingSMART International que permite a troca de informações entre diferentes plataformas de software (BUILDINGSMART INTERNATIONAL, [s.d.]).

¹⁷ *Passive House*: padrão de eficiência energética definido pelo Passivhaus Institut que limita a demanda anual de aquecimento e resfriamento a 15 kWh/m² ano, exige envelope hermético e ventilação mecânica com recuperação de calor (PASSIVE HOUSE INSTITUTE, [s.d.]).

¹⁸ BIMx é o visualizador interativo da Graphisoft que permite a navegação 2D-3D em modelos BIM em computadores e dispositivos móveis, facilitando a validação e a apresentação do projeto fora do escritório (GRAPHISOFT, 2025).

Revit® para o bambu, orientando a busca por alto grau técnico e eficiência energética em pré-fabricados de bambu.

2.2 QUADRO COMPARATIVO

Tabela 01 - Comparativo de Sistemas Pré-fabricados Analisados

Estudo de Caso	Material Predominante	Estratégia de Prefabricação	Nível Tecnológico	Lição Principal para este TFG
<i>Modern Modular®</i> (EUA)	Wood Frame / Misto	Módulos Volumétricos (Combináveis)	Alto (Foco em Customização em Massa)	É possível unir eficiência industrial (padronização) com flexibilidade de <i>layout</i> (personalização).
Cubo Modular (Filipinas)	Bambu Engenheirado (Laminado)	Painéis e Kits (Padronizados)	Médio-Alto (Configurador Web + Manufatura)	Valida o bambu engenheirado como material industrializável e comercialmente viável.
Bambugalô (Brasil)	Bambu Tratado (In natura)	Painéis e Componentes Estruturais	Médio (Manufatura Artesanal/Oficina)	Demonstra a viabilidade logística e de mercado para a pré-fabricação com bambu no contexto brasileiro.
Eco-House 3.0 (Espanha)	Madeira (CLT/Laminada)	Módulos Volumétricos	Muito Alto (<i>BIM-to-Fabrication</i> / Corte CNC)	A precisão dimensional absoluta via fluxo digital (BIM/CNC) é essencial para eliminar erros de montagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

CAPÍTULO 3 - O SISTEMA CONSTRUTIVO PRÉ-FABRICADO PROPOSTO

O capítulo fundamenta-se na classificação de elementos construtivos que distingue componentes, painéis e módulos, adotando como estratégia principal o uso de componentes e painéis produzidos previamente e montados in loco no canteiro de obras. Os módulos, por sua vez, são utilizados como base para a organização e racionalização do processo projetual, sem previsão de fabricação e montagem *off-site*, em razão das limitações logísticas associadas ao transporte rodoviário de elementos de grandes dimensões no contexto brasileiro, conforme parâmetros normativos de circulação e transporte de cargas indivisíveis nas rodovias nacionais (BRASIL, 2022).

A partir de referências projetuais analisadas ao longo do trabalho, o sistema é estruturado com base na criação de elementos pré-fabricados como fechamentos, conexões e componentes construtivos, concebidos para permitir replicação e adaptação em diferentes situações, respeitando as dimensões de transporte rodoviário, bem como princípios de modularidade, customização em massa e desmontagem. Esses elementos são modelados e organizados em um *template* no Autodesk® Revit®, que constitui a base metodológica para o desenvolvimento da etapa subsequente do trabalho, voltada à sistematização do método projetual proposto.

3.1 PROPOSTA DE EDIFICAÇÃO MODELO (PROTÓTIPO)

A edificação proposta consiste em um modelo residencial replicável, concebido prioritariamente para implantação em terrenos suburbanos, sem que haja impedimentos para sua adaptação a lotes urbanos com dimensões aproximadas de pelo menos 12 x 30 metros. A solução adota uma volumetria simples, elevada do solo por meio de apoios pontuais em concreto moldado in loco. Essa estratégia reduz a interferência no terreno natural, minimiza movimentações de terra e protege os fechamentos da umidade ascendente.

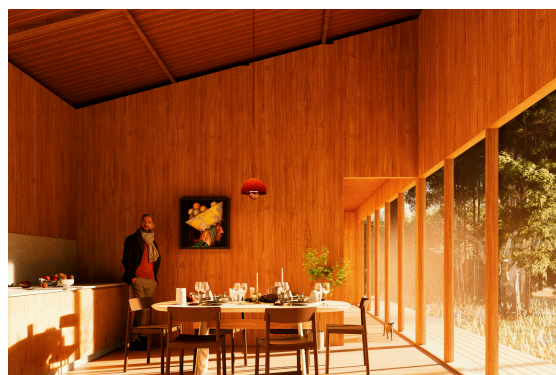
Os fechamentos verticais são constituídos por painéis modulares de bambu de alta densidade, organizados de forma repetitiva e compatível com a lógica da produção *off-site*. A composição das fachadas evidencia grandes planos contínuos de bambu de alta densidade

intercalados por esquadrias verticais modulares, que acompanham a racionalidade construtiva associada à pré-fabricação.

A relação entre interior e exterior é obtida pela presença de superfícies envidraçadas voltadas para um deck perimetral em bambu de alta densidade, que atua como elemento de circulação e transição entre a edificação e o entorno. O acesso ocorre por meio de uma escada ou mais escadas em concreto, conectando o nível do terreno ao plano elevado do deck ou varanda que circunda a edificação.

3.1.1 IMAGENS DA EDIFICAÇÃO MODELO

Figuras 31, 32, 33, 34, 35, 36 - Imagens fotorrealistas da casa modular proposta

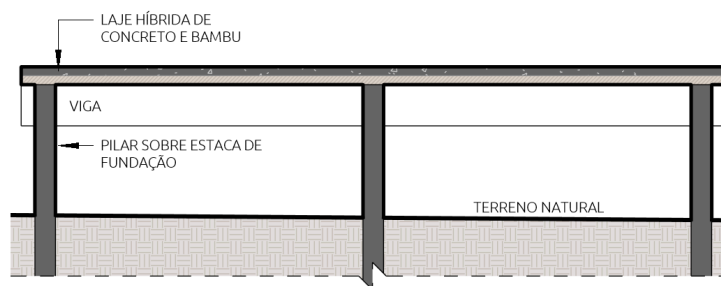




Fonte: Imagens produzidas pelo autor (2026).

3.2 LAJE DE BASE (*OFF-SITE* + *ON-SITE*)

A fundação e o sistema de laje constituem as únicas etapas executadas com concretagem no local da obra, configurando a base estrutural sobre a qual se desenvolve a montagem predominantemente seca dos elementos superiores. A edificação é elevada aproximadamente 50 cm em relação ao nível do solo por meio de pilares de concreto armado, estratégia construtiva adotada com o objetivo de mitigar os efeitos da umidade ascendente e ampliar a durabilidade dos componentes estruturais em bambu, conforme indicado no diagrama da figura 37.

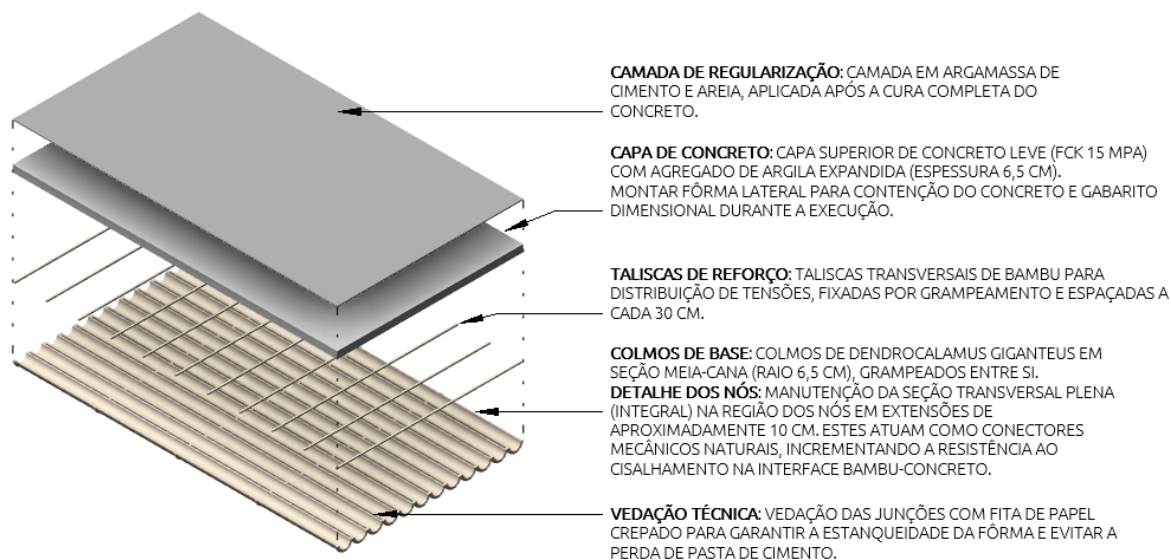
Figura 37 - Diagrama da base elevada

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Sobre os apoios de concreto é executada uma laje mista composta por colmos de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e uma capa de concreto leve com agregado de argila expandida, conforme ilustrado na figura 38. A escolha dessa espécie se justifica por seu diâmetro externo e elevada espessura de parede conforme demonstrado experimentalmente por Acosta e Carbonari (2017).

A laje é concebida como um sistema híbrido, no qual existem processos executivos *off-site* e *in loco*. Embora a concretagem da capa superior seja realizada no canteiro, os colmos de bambu são previamente selecionados, tratados, cortados e preparados em ambiente controlado, garantindo maior uniformidade dimensional, controle de qualidade e previsibilidade de desempenho estrutural. Essa combinação caracteriza um sistema misto sob o ponto de vista produtivo, conciliando racionalização construtiva e adaptação ao contexto local.

Figura 38 - Detalhamento do recorte dos colmos da laje

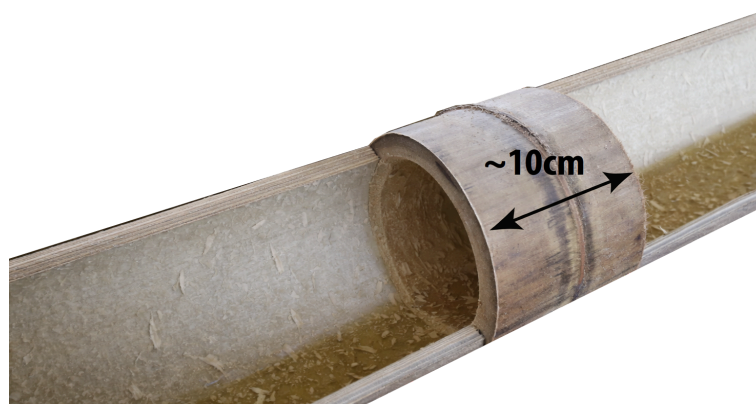


Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

Do ponto de vista estrutural, o bambu atua simultaneamente como fôrma perdida e como elemento resistente aos esforços de tração provenientes da flexão, enquanto a capa superior de concreto leve absorve predominantemente os esforços de compressão. Estudos experimentais indicam que a simples aderência química entre bambu e concreto é insuficiente para assegurar a transferência eficaz de esforços ao longo da interface, sendo observado o escorregamento longitudinal entre os materiais quando inexistem mecanismos adequados de conexão mecânica, o que compromete a resistência última e a rigidez do sistema (ACOSTA; CARBONARI, 2017).

Nesse contexto, a integridade estrutural da laje depende fundamentalmente do travamento mecânico entre os materiais. A manutenção da seção transversal circular íntegra do bambu na região dos nós, em trechos aproximados de 10 cm, atua como conector de cisalhamento natural, impedindo o escorregamento longitudinal na interface bambu-concreto (ver figura 39). Ensaios comparativos realizados por Acosta e Carbonari (2017) demonstram que lajes executadas com a preservação dos nós apresentam ganho significativo de resistência e melhor comportamento mecânico quando comparadas àquelas em que os colmos são seccionados integralmente.

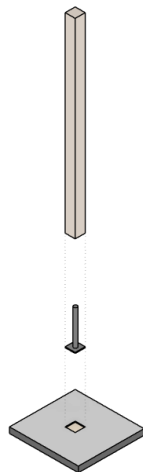
Figura 39 - Detalhamento do recorte dos colmos da laje



Fonte: Adaptado de Acosta e Carbonari (2017)

Como resultado, o sistema apresenta baixo peso próprio, decorrente da utilização de concreto leve associado à elevada relação resistência-peso do bambu, além de comportamento mecânico dúctil, característica relevante sob critérios de segurança estrutural. Os resultados experimentais obtidos por Acosta e Carbonari (2017) indicam que esse tipo de laje possui viabilidade técnica para aplicação em edificações residenciais, mesmo considerando as limitações inerentes à variabilidade natural do material vegetal.

No momento da concretagem da laje são posicionadas, conforme indicado na figura 40, esperas metálicas previamente definidas no modelo BIM. Esses elementos funcionam como dispositivos de posicionamento e travamento dos pilares de bambu de alta densidade, descritos na seção 3.3, assegurando precisão geométrica.

Figura 40 - Diagrama da inserção das esperas na laje

Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

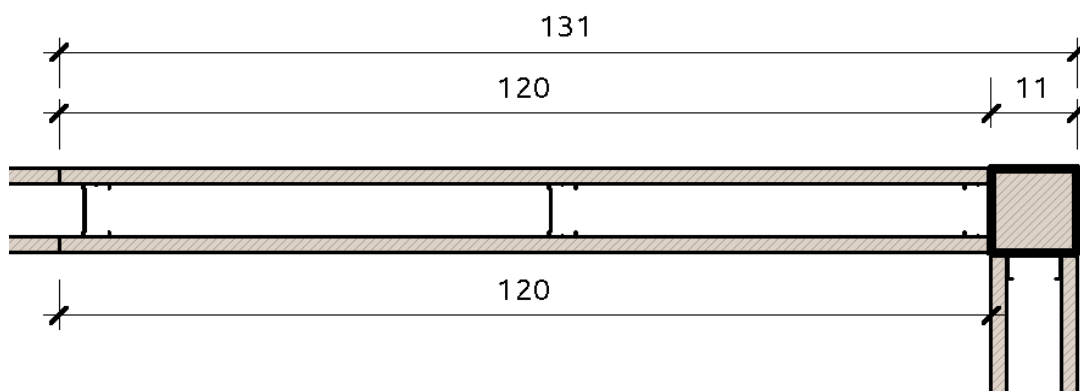
Após a cura do concreto e a instalação dos pilares de bambu, dá-se início à montagem das paredes em *Light Steel Framing*, conforme descrito na seção 3.4. Em seguida, as instalações hidrossanitárias são posicionadas sobre a laje estrutural, visando sua posterior incorporação ao contrapiso. Essa camada de regularização desempenha também a função de travamento da base das paredes, além de assegurar os caimentos adequados em direção aos ralos. Por fim, o fechamento das paredes com placas e a execução do revestimento final de piso ocorrem apenas após a conclusão da cobertura, de modo a garantir a proteção dos acabamentos frente à ação das intempéries.

3.3 PILARES E CONEXÕES

Como estratégia de regularidade modular do projeto, os pilares de bambu de alta densidade (seções de 11 x 11 cm e 11 x 22 cm) desempenham a função técnica de elementos de compatibilização geométrica. A inserção destes elementos verticais soluciona a diferença dimensional inerente ao encontro de paredes, onde o perímetro externo da vedação é necessariamente maior que o interno. Sem os pilares, os painéis de fechamento do *Light Steel Framing* (LSF) exigiriam larguras variáveis para o fechamento de cantos em "L" e conexões em "T". A presença do pilar de bambu absorve essa variação de comprimento, permitindo que

os painéis mantenham sua padronização e a modulação constante em toda a edificação (figura 41). Esta abordagem alinha-se aos princípios de *Design for Manufacturing and Assembly* (DfMA) descritos por Smith (2010), ao priorizar a repetibilidade dos componentes pré-fabricados (painéis) em detrimento de ajustes in loco. Adicionalmente, os pilares atuam como gabaritos de montagem ancorados à fundação, oferecendo referência para a montagem dos montantes de LSF.

Figura 41 - Diferença entre comprimento total externo e interno das paredes



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

3.4 VEDAÇÃO VERTICAL E PAINÉIS DE FECHAMENTO (*OFF-SITE*)

O sistema de vedação vertical proposto fundamenta-se na racionalização construtiva e na aplicação direta dos conceitos de DfMA. A estratégia adota princípios de coordenação modular para assegurar precisão dimensional e otimização do tempo de montagem, facilitando futuras desmontagens e a reconfiguração dos componentes ao longo do ciclo de vida da edificação, em consonância com as diretrizes de *Design for Deconstruction* (DfD).

A organização projetual estrutura-se sobre uma malha modular de 120×240 cm, definida a partir das dimensões comerciais dos componentes principais: placas de bambu de alta densidade da linha MOSO® *High Density*® (Figura 42), chapas de gesso acartonado resistentes à umidade (RU) e placas cimentícias. No ambiente BIM, essa modulação é parametrizada por meio de ferramentas de paredes cortina (*curtain walls*) no software Autodesk® Revit®, onde os eixos de referência (*grid*) correspondem aos limites físicos dos

painéis. Essa metodologia assegura a interoperabilidade entre o modelo digital e a manufatura, permitindo que o modelo incorpore a lógica de fabricação em componentes e painéis (Smith, 2010).

Figura 42 - placas de bambu de alta densidade da linha MOSO® *High Density*



Fonte: MOSO INTERNATIONAL (2025)

O pré-corte das peças dos quadros estruturais em LSF e dos painéis de fechamento ocorrem em ambiente *off-site*, orientados por tabelas de quantitativos extraídas automaticamente do modelo. Esse fluxo de trabalho minimiza erros de compatibilização, restringindo as atividades *in loco* à montagem seca e à fixação mecânica dos componentes sobre a laje de base.

A vedação vertical externa é constituída por painéis maciços de bambu MOSO® BP-DT1000, com espessura de 20 mm, que desempenham dupla função: vedação estanque e acabamento final. Estes painéis são fabricados mediante a compressão de fibras de bambu sob alta densidade (aprox. 1.150 kg/m³), resultando em uma dureza Brinell superior a 9,5 kg/mm², desempenho mecânico superior ao de madeiras de lei convencionais (MOSO INTERNATIONAL, 2023).

Crucialmente, o material é submetido a um processo industrial de termo-tratamento (*Thermo-Density*®), que altera sua composição química e física. Este tratamento confere ao bambu a Classe de Durabilidade Biológica 1, conforme a norma EN 350 (MOSO INTERNATIONAL, 2023), e a Classe de Uso 4, segundo a norma EN 335 (MOSO

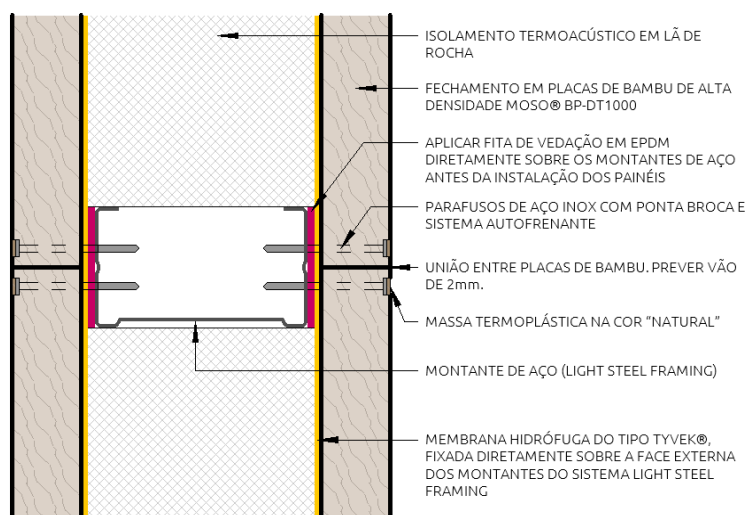
INTERNATIONAL, 2023). Tais classificações atestam tecnicamente a resistência do material ao ataque de fungos e microrganismos em contato direto com a atmosfera externa, dispensando a aplicação de tratamentos químicos preservantes in situ e garantindo a longevidade do sistema de fachada.

A fixação dos painéis ocorre por meio de parafusos de aço inoxidável com ponta broca, instalados após a pré-furação das chapas. Os furos devem ser oblongos, permitindo a movimentação das chapas devido à dilatação e prevenindo, assim, fissuras. As cabeças dos parafusos são embutidas e seladas com massa termoplástica na cor do material, assegurando a estanqueidade pontual e a homogeneidade visual (MOSO INTERNATIONAL, 2023).

Para o desempenho higrotérmico, o sistema integra uma barreira hidrófuga (membrana tipo Tyvek®) posicionada entre o painel de bambu e a subestrutura de aço galvanizado (Figura 43). Esta camada impede a penetração de água líquida enquanto permite a permeabilidade ao vapor, prevenindo a condensação.

Entre os montantes metálicos e os painéis de bambu, é mandatória a aplicação de fita de vedação em EPDM. Além de garantir a estanqueidade das juntas verticais, o EPDM desempenha função mecânica crítica: absorver a dilatação térmica diferencial entre o aço do perfil (LSF) e o painel de bambu. A interface elástica do EPDM, associada à previsão rigorosa de juntas de dilatação de 2 mm entre os painéis, é indispensável para evitar o travamento das peças e a consequente flambagem ou empenamento das placas sob radiação solar direta (MOSO INTERNATIONAL, 2023).

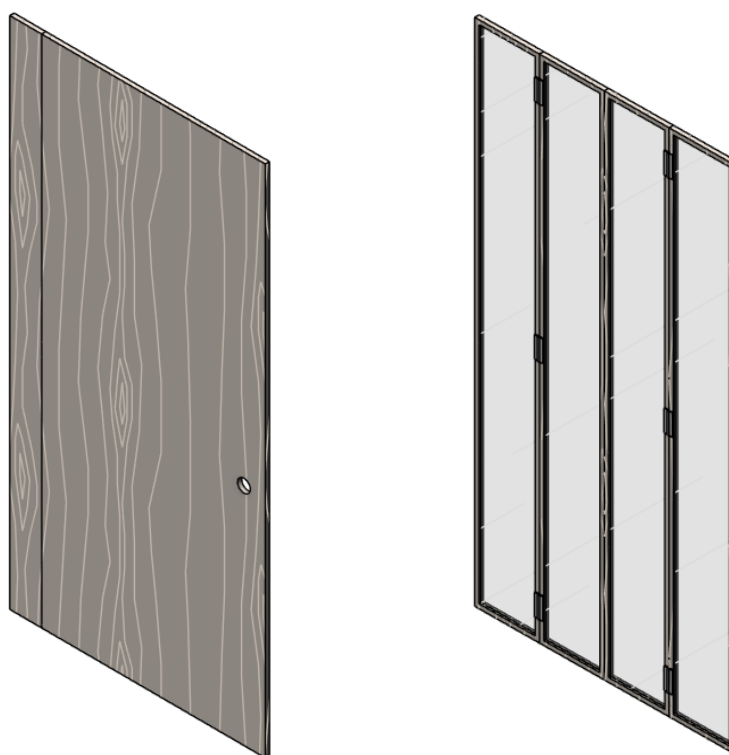
Figura 43 - Detalhamento das camadas da parede



Fonte: Imagem produzida pelo autor (2026).

As esquadrias seguem a modulação de 120×240 cm para garantir a coordenação modular com a vedação opaca e podem ocorrer conforme estudo de insolação dos terrenos de implantação. As portas integram bandeiras laterais fixas para ajuste de vão, enquanto as janelas adotam tipologia de quatro folhas articuladas (abertura em W), com peitoril nivelado ao piso. Os caixilhos, em perfil slim de 11 cm de largura, alinham-se à espessura total da parede, eliminando a necessidade de guarnições sobrepostas e reforçando a limpeza formal do conjunto (Figura 44).

Figura 44 - Vistas ortogonais esquemáticas das esquadrias



Fonte: Imagem produzida pelo autor (2026).

O fechamento interno adapta-se às demandas do programa, variando entre gesso acartonado RU (12,5 mm) ou painéis de bambu lisos como do fechamento externo ou ripados da BambooEco®. A instalação das infraestruturas prediais (elétrica e hidrossanitária) precede o fechamento das faces internas, ocorrendo no interior dos montantes do LSF, respeitando a lógica de montagem sequencial e a integridade dos painéis industrializados.

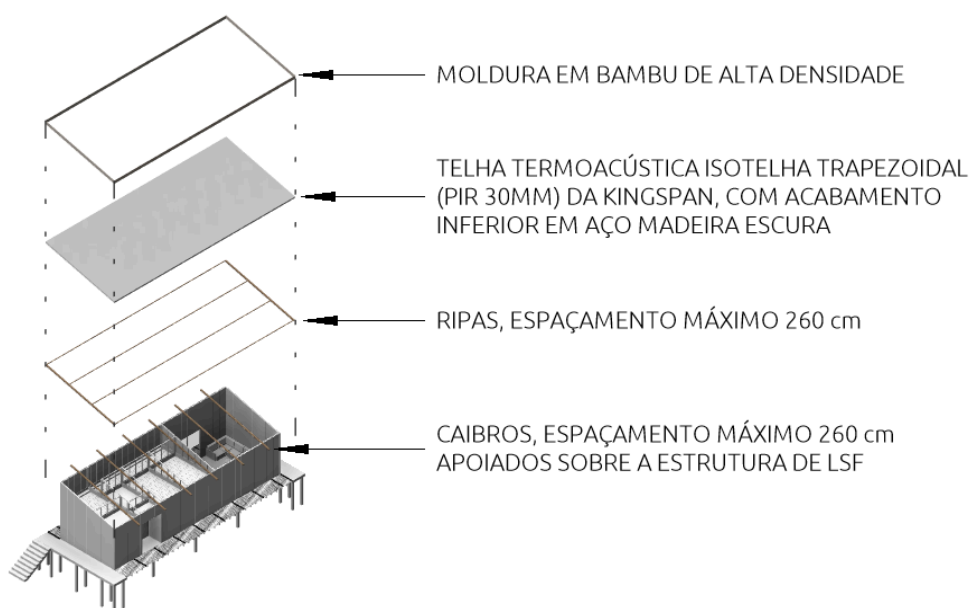
3.5 COBERTURA

A cobertura será executada com telhas termoacústicas do tipo sanduíche (modelo Isotelha Trapezoidal), compostas por núcleo isolante em PIR de 30mm. As telhas possuem revestimento externo na cor Branco Neve e revestimento interno em aço com acabamento amadeirado (Madeira Escura), o que dispensa a necessidade de forro, caso desejado, servindo como acabamento final do teto.

A fixação será feita (conforme figura 45) sobre uma estrutura de ripas e caibros, respeitando o vão máximo entre apoios de 2,60 metros, conforme as especificações técnicas do fabricante. O telhado será do tipo aparente, com inclinação de 25% e contará com beirais de projeção mínima de 60 centímetros. O dimensionamento final dos beirais será ajustado para otimizar o uso das peças, baseando-se nos comprimentos comerciais disponíveis (variando de 1,00 m a 7,50 m, com incrementos conforme tabela do fornecedor).

Para o acabamento, será instalada uma moldura de bambu de alta densidade ao redor de todo o telhado. O sistema inclui ainda a instalação de uma calha para a coleta e escoamento das águas pluviais.

Figura 45 - Diagrama da composição do telhado



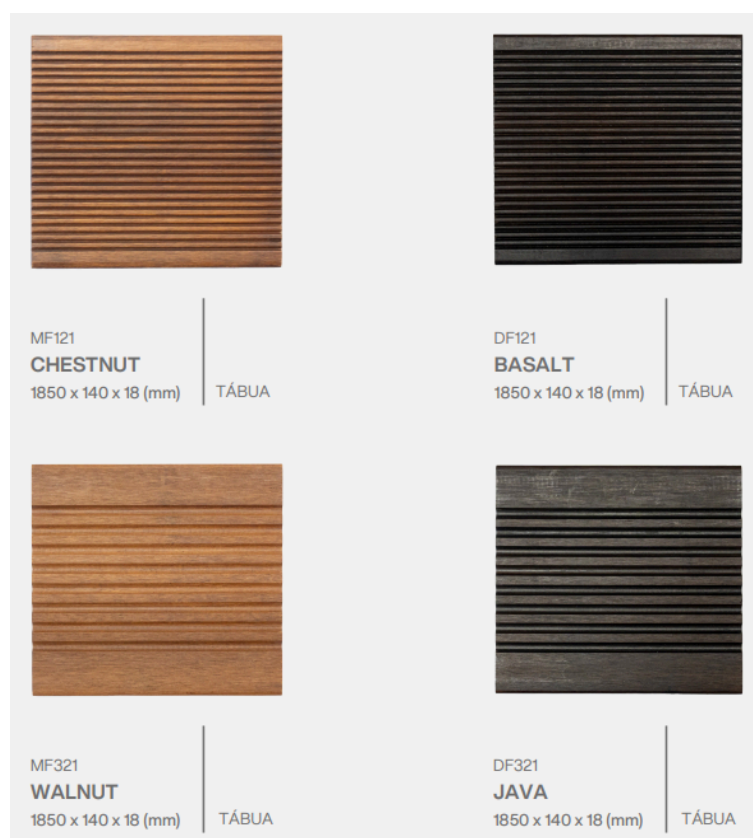
Fonte: Imagem produzida pelo autor (2026).

3.6 ACABAMENTOS E REVESTIMENTOS

Após a finalização da superestrutura e dos fechamentos, o sistema segue para a etapa de acabamentos, mantendo a premissa da montagem a seco e da pré-fabricação (DfMA).

Para as áreas externas de transição, especificou-se o uso de decks em bambu de alta densidade da BambooEco® (figura 46). A escolha justifica-se pelo termotratamento do material, que confere durabilidade classe 1 e resistência a fungos, essenciais para a exposição às intempéries (BambooEco®, s.d.).

Figura 46: Peças para deck do catálogo BambooEco®



Fonte: BambooEco® (s.d.)

A instalação ocorre sobre barrotes com fixação oculta por presilhas metálicas, sistema que agiliza a montagem ao dispensar furações manuais na régua e garante, as juntas de dilatação necessárias para drenagem e ventilação.

Nos forros, optou-se também pelos produtos da BambooEco®. O sistema de fixação por clips facilita a manutenção futura das instalações elétricas e do sistema de drenagem da cobertura, sem a necessidade de demolições ou danos aos componentes de acabamento.

Nas áreas secas internas o projeto adota assoalhos de bambu com encaixe tipo "click" colados sobre manta de polietileno, enquanto as áreas molhadas recebem revestimentos cerâmicos adequados.

Ressalta-se que, para garantir a aplicabilidade do método, boa parte do catálogo do fornecedor BambooEco® foi parametrizado no *template* BIM desenvolvido. Isso permite que, em futuras aplicações do sistema, a alteração de especificações - como cores de acabamento, dimensões ou perfis - seja realizada de maneira automática e quantificável, atendendo ao conceito de customização em massa.

CAPÍTULO 4 - CONTRIBUIÇÕES DO BIM PARA A CONSOLIDAÇÃO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO EM BAMBU

Este capítulo apresenta a metodologia adotada para a sistematização do sistema construtivo pré-fabricado em bambu por meio de fluxos digitais baseados em BIM, com ênfase no uso do software Autodesk® Revit®. Diferentemente de uma abordagem voltada exclusivamente à representação tridimensional, o BIM é aqui empregado como instrumento central de organização da informação construtiva, orientando decisões relacionadas à fabricação, à logística e à montagem dos componentes desenvolvidos no Capítulo 3.

A estratégia metodológica fundamenta-se nos princípios do DfMA, buscando antecipar no ambiente digital aspectos tradicionalmente resolvidos em etapas posteriores do processo construtivo. Dessa forma, o modelo BIM assume o papel de um protótipo informacional, capaz de estruturar um sistema construtivo em bambu normalmente associado a práticas pouco padronizadas.

Para explicitar esse raciocínio, o capítulo está organizado em partes que correspondem aos principais subsistemas e operações do sistema construtivo proposto. Inicialmente, são discutidos os fechamentos verticais e a estrutura associada, por constituírem o núcleo do sistema. Em seguida, são apresentados os níveis de desenvolvimento adotados e os limites da modelagem, contextualizando o escopo do Trabalho Final de Graduação. Na sequência, abordam-se os sistemas de piso e forro em bambu como componentes seriados integrados à mesma lógica de pré-fabricação. Por fim, o capítulo trata da gestão da informação, da padronização do *template* e das estratégias de automação, documentação e controle visual, evidenciando o papel do BIM como ferramenta articuladora entre projeto, produção e montagem.

4.1 NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO (LOD) E ESTRATÉGIA DE MODELAGEM

A definição do Nível de Desenvolvimento (LOD - *Level of Development*) é fundamental para estabelecer a confiabilidade da informação contida no Modelo da

Informação da Construção (BIM). Diferente de uma simples métrica de detalhamento gráfico, o LOD define o grau de certeza com que as informações geométricas e não geométricas podem ser utilizadas para tomadas de decisão em diferentes etapas do ciclo de vida da edificação (Autodesk, 2026).

Para o desenvolvimento do sistema pré-fabricado misto em bambu e *Light Steel Framing* (LSF) proposto neste trabalho, adotou-se estrategicamente o LOD 300, conforme as especificações da Autodesk (2026). Esta decisão metodológica visa garantir a integridade da coordenação dimensional sem incorrer em excessos de modelagem que não agregam valor à etapa de projeto arquitetônico.

4.1.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DO LOD 300

Segundo o BIMForum (2024), o LOD 300, o elemento é representado graficamente no modelo como um sistema específico, objeto ou montagem em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação precisos.

Neste trabalho, a adoção do LOD 300 permite que os componentes estruturais de bambu e os perfis de LSF sejam modelados com suas dimensões reais e posicionamento exato. Isso assegura que o modelo seja apto para:

1. Coordenação Dimensional: Verificação de interferências (*clash detection*) entre os sistemas estruturais e vedações.
2. Extração de Quantitativos: Obtenção de listas de materiais confiáveis para estimativa de custos globais.
3. Documentação: Geração de plantas, cortes e vistas consistentes com a geometria projetada.

A precisão geométrica neste estágio é suficiente para validar a construtibilidade do design sem a necessidade de definir processos específicos de fabricação, mantendo o fluxo de trabalho ágil e focado na resolução projetual.

4.1.2 A “FALSA PRECISÃO” E A EXCLUSÃO DO LOD 400

Uma diretriz central de metodologia para esse trabalho foi a exclusão deliberada do LOD 400, nível que compreende a modelagem apta para fabricação e montagem (*fabrication and assembly*). O LOD 400 exigiria a modelagem explícita de cada parafuso, conector, solda e furação específica.

A decisão de não avançar para este nível baseia-se no conceito de "falsa precisão". Em projetos de sistemas industrializados e pré-fabricados, os detalhes de conexão e tolerâncias variam significativamente entre diferentes fabricantes e fornecedores. Modelar, nesta etapa acadêmica, um conector específico de bambu ou um parafuso autoperfurante de determinada marca, sem a definição contratual de um fabricante, criaria uma ilusão de precisão.

Portanto, tentar atingir o LOD 400 sem a participação da cadeia de suprimentos resultaria em um modelo geometricamente pesado e tecnicamente impreciso quanto às tolerâncias reais de fabricação. O LOD 300, complementado por informações não gráficas (parâmetros), oferece a confiabilidade necessária para o escopo do projeto, deixando o detalhamento fino (LOD 400) para a etapa de escopo além do trabalho de graduação.

4.1.3 COMPLEMENTAÇÃO DA INFORMAÇÃO

Para suprir a necessidade de detalhamento construtivo sem sobrecarregar a geometria do modelo, adotou-se uma abordagem híbrida. Detalhes de alta complexidade são apresentados através de detalhamentos 2D vinculados às vistas do modelo. Esta prática é reconhecida na indústria como uma maneira eficiente de comunicar a intenção de design (LOD 300) mantendo a clareza técnica necessária para o entendimento do sistema (PARANÁ, 2023).

Em suma, o modelo atinge a maturidade necessária para coordenação e compatibilização, respeitando os limites da responsabilidade do arquiteto na fase de projeto executivo e evitando a inserção de dados especulativos de fabricação.

4.2 SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL E ESTRUTURA ASSOCIADA

A estratégia de modelagem do sistema construtivo transcende a representação gráfica, constituindo uma simulação digital do processo de montagem e da lógica de componentes. Fundamentada na taxonomia proposta por Smith (2010), a metodologia adota os princípios de "painelização" e "discretização"¹⁹ para transpor a materialidade do bambu e do *Light Steel Framing* (LSF) para o ambiente virtual.

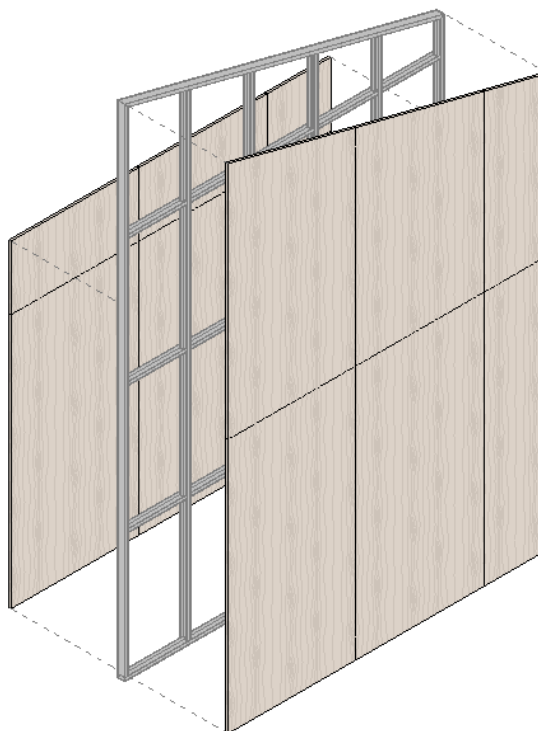
Para a representação dos fechamentos verticais, optou-se pela utilização da ferramenta Parede Cortina do Autodesk® Revit®. Esta escolha metodológica justifica-se pela incapacidade das ferramentas convencionais de "Parede Básica" em representar a descontinuidade inerente aos sistemas pré-fabricados. Enquanto as paredes básicas simulam elementos monolíticos (como alvenaria ou concreto moldado in loco), a ferramenta de Parede Cortina opera mediante uma lógica de grade (grid), permitindo a segmentação da superfície em módulos independentes (Autodesk, 2026).

O sistema foi estruturado em três camadas de Paredes Cortina independentes (figura 47), visando a detecção de interferências e a extração precisa de quantitativos:

1. **Camada Externa:** Painéis de bambu de alta densidade (modulação 120 × 240 cm);
2. **Camada Interna:** Painéis de bambu de alta densidade ou painéis de gesso acartonado resistente à umidade (RU), seguindo a mesma coordenação modular;
3. **Núcleo Estrutural:** Montantes de LSF (*Light Steel Framing*) espaçados a cada 60 cm, definidos pelos eixos verticais do grid.

¹⁹ Processo de subdivisão de uma geometria ou sistema contínuo em elementos finitos e distintos. Segundo Smith (2010), na arquitetura industrializada, a discretização traduz a racionalização construtiva, convertendo o edifício em componentes autônomos (painéis) para viabilizar a fabricação, o transporte e a montagem a seco.

Figura 47: Camadas da parede com elementos discretizados



Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Esta discretização dos elementos em camadas distintas permite verificar, em ambiente virtual, a compatibilidade física entre a estrutura de suporte e os componentes de acabamento, antecipando problemas que não seriam visíveis em uma modelagem monolítica.

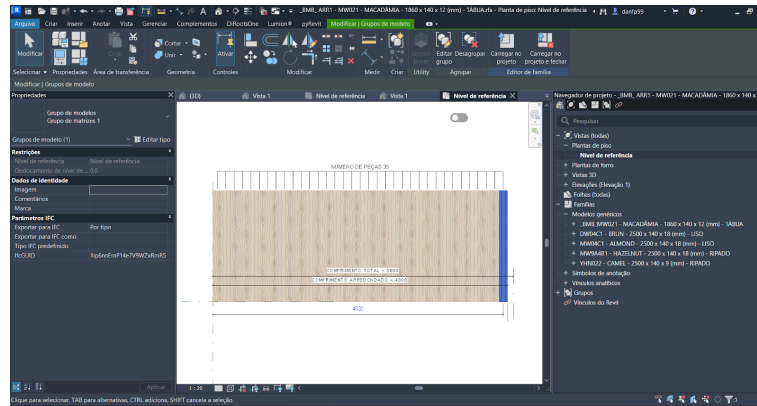
Complementarmente, os elementos estruturais primários, especificamente os pilares de bambu de alta densidade, foram modelados através de famílias carregáveis. Estes componentes, com seções de 11×11 cm e 11×22 cm, integram-se ao sistema através de conexões metálicas de base (esperas), modeladas como componentes. Esta abordagem reforça a integridade do modelo BIM não apenas como visualização, mas como banco de dados construtivo fiel às especificidades do material.

4.3 SISTEMAS DE PISO, LAJES, FORROS E COBERTURA

Os sistemas de piso, laje e forro foram modelados de acordo com sua natureza construtiva, grau de industrialização e relação com a pré-fabricação.

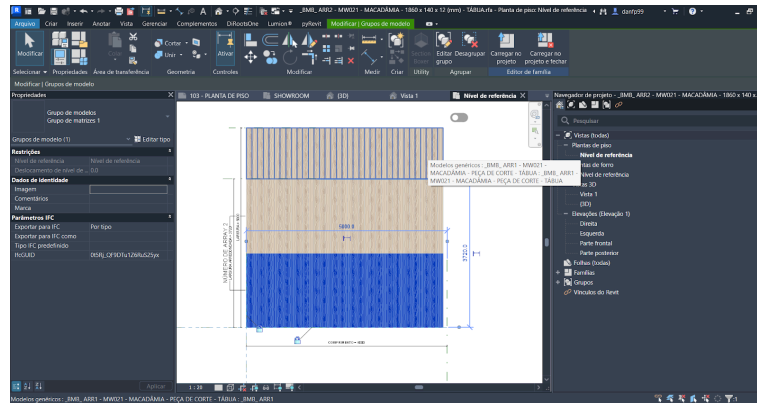
Os forros fazem parte do núcleo pré-fabricado do sistema construtivo proposto, sendo concebidos como componentes produzidos *off-site*. Os forros em bambu de alta densidade, fornecidos pela BambooEco®, foram modelados como famílias carregáveis de “modelo genérico”, nas quais uma peça-base representa a unidade construtiva mínima do sistema. A partir dessa unidade, o forro é configurado no modelo por meio de uma distribuição matricial, que permite controlar parametricamente por “setas” ou inserindo valores numéricos extensão das peças nos eixos x e y (ver figura 48, 49 e 50). Essa estratégia possibilita ajustar o forro às dimensões de cada ambiente, antecipando de forma automática as peças que necessitam de recorte, sem a necessidade de modelar individualmente cada elemento. É previsto que esses elementos sejam pré-cortados e que as sancas sejam pré-montadas fora do canteiro, reforçando a lógica de produção *off-site* adotada no sistema. Seguindo o mesmo princípio de pré-fabricação, os forros de gesso acartonado são dimensionados e modulados por meio da ferramenta de vidraça inclinada do Revit®, utilizando os mesmos painéis empregados nas paredes cortina de fechamento em gesso acartonado do tipo RU. Essa estratégia permite reaproveitar a lógica de modulação em painéis de 120 × 240 cm, garantindo que as placas cheguem prontas para instalação em obra, sem necessidade de recortes, e reforçando a lógica de industrialização adotada no sistema.

Figura 48: Replicação matricial da peça básica do forro no eixo x.



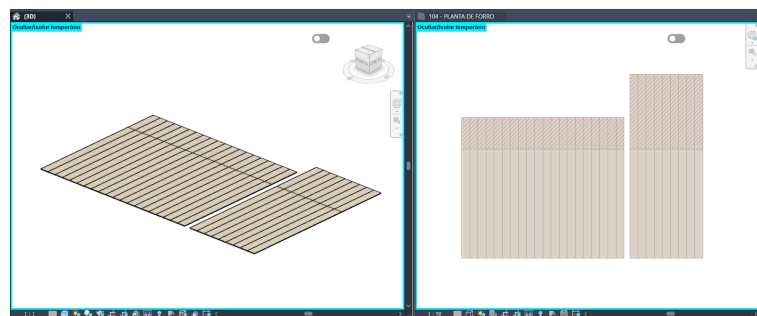
Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Figura 49: Replicação matricial do arranjo replicado em x no eixo y com peças de ajuste no topo (que permitem recorte).



Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Figura 50: Modelagem automática do forro com família parametrizada carregada em projeto em vista ortogonal e planta



Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Os pisos e lajes, por sua vez, embora constituam partes essenciais do sistema construtivo, não integram o núcleo pré-fabricado definido neste trabalho. Com exceção do piso tipo deck, os pisos e a laje foram modelados utilizando famílias de sistema do Revit®, opção adotada em função das limitações impostas pelos formatos e dimensões das peças em bambu de alta densidade disponíveis no mercado, que não se compatibilizam com a modulação dos painéis de vedação vertical. Nessas condições, torna-se inevitável a realização de recortes em obra, sobretudo por se tratarem de peças de pequenas dimensões, inviabilizando sua incorporação ao núcleo pré-fabricado do sistema proposto. O piso tipo deck constitui uma exceção a essa abordagem, sendo desenvolvido como família carregável de componente e organizado a partir da mesma lógica de distribuição matricial descrita para os forros em bambu. Nesse caso, uma peça-base é replicada parametricamente no modelo, permitindo controlar extensões e ajustes dimensionais sem a necessidade de modelar cada elemento individualmente. Essa abordagem possibilita ainda que as peças resultantes sejam individualizadas em tabelas de quantitativos, organizadas por dimensões e preparadas previamente para corte e separação *off-site*, de modo que cheguem ao canteiro prontas para instalação.

Os pisos internos das áreas secas, previstos para execução com assoalho de bambu de alta densidade, foram modelados como pisos de sistema, com suas camadas configuradas de forma simplificada. A quantificação desses pisos não se baseia na contagem direta de componentes modelados individualmente, mas em fórmulas aplicadas em tabelas de quantitativos (figura 51). Essas fórmulas consideram a área de cada ambiente, o formato das peças fornecidas pelo fabricante e uma taxa de excedente destinada a suprir perdas decorrentes de recortes *in-loco*.

Figura 51: Captura de tela de tabela de quantitativo de piso com fórmula para determinar número de peças

QUANTITATIVO PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)			
LEG.	DESCRIÇÃO	ÁREA	NÚMERO DE PEÇAS (COM FATOR DE SEGURANÇA = 1,5)
CORREDOR			
	PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)	8,18 m ²	123
QUARTO 1			
	PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)	8,64 m ²	130
QUARTO 2			
	PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)	8,64 m ²	130
SALA / COZINHA			
	PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)	29,9 m ²	450
SUITE			
	PISO - MI085 - SAND - CHEVRON 60° - 580 x 132 x 14 (mm)	7,2 m ²	109
TOTAL		62,56 m ²	942

Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Os pisos das áreas molhadas e das áreas externas também foram modelados com famílias de sistema, porém definidos de forma genérica, uma vez que não integram a etapa de pré-fabricação proposta neste trabalho. Foram criados tipos com nomenclaturas como “_BMB_PISO ÁREAS MOLHADAS” e “_BMB_PISO ÁREAS EXTERNAS A DEFINIR”, permitindo que esses elementos sejam adaptados futuramente de acordo com a disponibilidade local de produtos e soluções construtivas em cada projeto específico.

A laje de base, concebida como uma laje híbrida de concreto e bambu, foi modelada como piso de sistema, com camadas e espessuras configuradas de acordo com o sistema descrito no Capítulo 3. Seu detalhamento é apresentado exclusivamente em 2D, sendo os quantitativos estimados por meio de fórmulas em tabelas, e não pela contagem direta de componentes modelados.

Os pilares de concreto e vigas do embasamento, responsáveis por elevar a edificação em relação ao terreno, foram modelados com a ferramenta de "pilares" e "quadro estrutural" apenas de forma esquemática. Seu dimensionamento estrutural e detalhamento executivo deverão ser desenvolvidos por engenheiro responsável, a partir de estudos específicos de solo e fundação, não integrando o escopo deste Trabalho Final de Graduação.

Por fim, a cobertura foi modelada com foco na definição geométrica e na quantificação dos componentes. As telhas foram modeladas por meio da ferramenta de vidraça inclinada, permitindo subdividir a superfície da cobertura em painéis correspondentes às dimensões comerciais fornecidas pelo fabricante, o que possibilitou a extração direta do número de telhas necessárias. A estrutura de apoio em ripas e caibros foi modelada

respeitando os espaçamentos indicados pelo fabricante das telhas, permitindo a extração de tabelas de quantitativos dessas peças e sua produção *off-site*, de forma compatível com a lógica de pré-fabricação adotada no sistema.

4.4 AUTOMAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO E GESTÃO DE DADOS COM DYNAMO®

A utilização de programação visual (Dynamo®) neste trabalho teve como objetivo solucionar gargalos específicos de produtividade permitindo automatizar tarefas repetitivas, garantindo que o foco do projetista permaneça na concepção e na qualidade da informação. Foram desenvolvidas três rotinas principais para otimizar a gestão de dados e a produção gráfica.

4.4.1 PADRONIZAÇÃO E RASTREABILIDADE DE PEÇAS

Para viabilizar a produção seriada e a logística de canteiro, foi necessária uma estratégia de codificação dos painéis de fechamento. A primeira rotina atua na identificação paramétrica baseada em geometria. O script extrai as dimensões de largura e altura de cada painel cortina (que representam os painéis de fechamento de bambu de alta densidade e de gesso acartonado) e, a partir desses dados, renomeia automaticamente o parâmetro de instância "Marca".

Dessa forma, painéis com dimensões idênticas recebem o mesmo código, permitindo sua quantificação exata e agrupamento para fabricação. Essa automação elimina o erro humano na catalogação manual e facilita a gestão dos componentes na obra, alinhando-se aos princípios de racionalização construtiva citados por Smith (2010).

4.4.2 GESTÃO DE VISIBILIDADE EM VISTAS DE DETALHAMENTO

A segunda rotina foi desenvolvida para superar uma limitação na configuração de visibilidade gráfica do software. Nas elevações voltadas ao detalhamento - tanto do fechamento quanto da estrutura em *Light Steel Framing* - os modelos de vista não permitem isolar automaticamente apenas os elementos em vista, mantendo visíveis indesejadamente os painéis e montantes que estão em corte.

Para evitar o processo manual de ocultar elementos individualmente, a rotina identifica todos os componentes que interceptam o plano de corte da vista e aplica a função de ocultar automaticamente. Isso resulta em desenhos limpos, onde apenas a elevação frontal dos elementos é apresentada, otimizando a preparação das pranchas de detalhamento.

4.4.3 AUTOMATIZAÇÃO DE COTAGEM

A terceira rotina complementa o processo de detalhamento ao automatizar a cotagem dos painéis cortina. O algoritmo detecta os eixos (grids) da parede cortina presentes na vista e insere automaticamente as linhas de cota entre eles.

Em um projeto modular, onde a repetição de eixos é constante, essa ferramenta assegura a consistência entre a modelagem e a documentação técnica, reduzindo o tempo operacional de anotação manual.

4.5 DOCUMENTAÇÃO, FILTROS E CONTROLE VISUAL DA PRODUÇÃO

A documentação técnica foi estruturada para apoiar a leitura do sistema construtivo e facilitar a identificação de peças que fogem ao padrão de fábrica, adotando-se um fluxo baseado em vistas de elevação específicas para cada parede. Para cada trecho de vedação, são geradas elevações distintas, separando a documentação dos painéis de fechamento das vistas que apresentam a estrutura interna em LSF.

O controle visual da padronização foi realizado por meio de filtros (regras gráficas aplicadas às vistas do projeto), de modo que diferentes tipos de painéis possam ser identificados visualmente de forma imediata, mesmo por leitores sem familiaridade com o

software (ver figura 51). Para isso, foram definidos modelos de vista, que funcionam como conjuntos de configurações gráficas pré-definidas, responsáveis por padronizar escala, nível de detalhe e critérios de visualização em todas as elevações. Associados a esses modelos, foram utilizados filtros, que aplicam cores e hachuras automaticamente aos elementos a partir de informações previamente atribuídas a cada painel.

Nesse sistema, os painéis de gesso acartonado do tipo RU são representados com preenchimento sólido na cor verde. Quando esses painéis exigem cortes para ajuste dimensional, é aplicada também uma hachura diagonal verde escura sobreposta (ver figura 52). Os painéis de bambu inteiros, compatíveis com as dimensões padrão de fabricação, são identificados com preenchimento sólido na cor marrom. Já os painéis de bambu que exigem cortes para ajuste dimensional são representados com preenchimento marrom de fundo e hachura diagonal vermelha sobreposta (ver figura xx). Essa sobreposição gráfica ocorre de forma automática, de acordo com as dimensões reais dos painéis modelados, conforme regras previamente definidas nos filtros aplicados aos modelos de vista. A mesma lógica gráfica é aplicada às peças de deck e aos forros em bambu, especificamente nas vistas de planta de piso e planta de forro, permitindo distinguir de forma clara os elementos padronizados daqueles que demandam recorte, sem a necessidade de leitura de códigos ou tabelas.

Figura 51 - Filtros aplicados às elevações de detalhamento do fechamento das paredes

Visibilidade/Sobreposição de gráficos para _BMB_200 - CORTE DE FECHAMENTO DAS PAREDES

Categorias de modelo Categorias de anotação Categorias de modelo analítico Categorias importadas Filtros

Nome	Ativar filtro	Visibilidade	Projeção/Superfície			Cortar		Meio-tom
			Linhas	Padrões	Transparência	Linhas	Padrões	
_BMB_PLACA GESSO ACARTONADO RU FOR...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	[Padrões]	Sobrepor...	Sobrepor...	Sobrepor...	<input checked="" type="checkbox"/>
_BMB_PLACA COMPLETA GESSO ACARTON...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	[Padrões]				<input type="checkbox"/>
_BMB_PLACA BAMBU DE ALTA DENSIDADE ...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	[Padrões]				<input type="checkbox"/>
_BMB_PLACA COMPLETA BAMBU DE ALTA ...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	[Padrões]				<input type="checkbox"/>
_BMB_PORTA MODULAR 120 x 240 cm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	[Padrões]				<input type="checkbox"/>
_BMB_JANELA PAINEL OPAÇO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto				<input type="checkbox"/>
_BMB_JANELA PAINEL DE VIDRO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto				<input type="checkbox"/>
_BMB_JANELA PAINEL DE VIDRO JATEADO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto				<input type="checkbox"/>
_BMB_PAINEL DE VIDRO DE CORRER	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto				<input type="checkbox"/>
_BMB_PILAR 11X22	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto	Oculto			<input type="checkbox"/>
_BMB_PILAR 11X11	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	[Linhas]	Oculto	Oculto			<input type="checkbox"/>
_BMB_FORRO BAMBU DE ALTA DENSIDADE	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB_PILAR DE FUNDAÇÃO 15 x 15	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB_VIGA DA FUNDAÇÃO 15 x 30	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB_MOBILIÁRIOS GENÉRICOS	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB_CORTES DETALHAMENTO DE PLACAS ...	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB_DECK	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>
_BMB ESTRUTURA LSF	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	[Linhas]					<input type="checkbox"/>

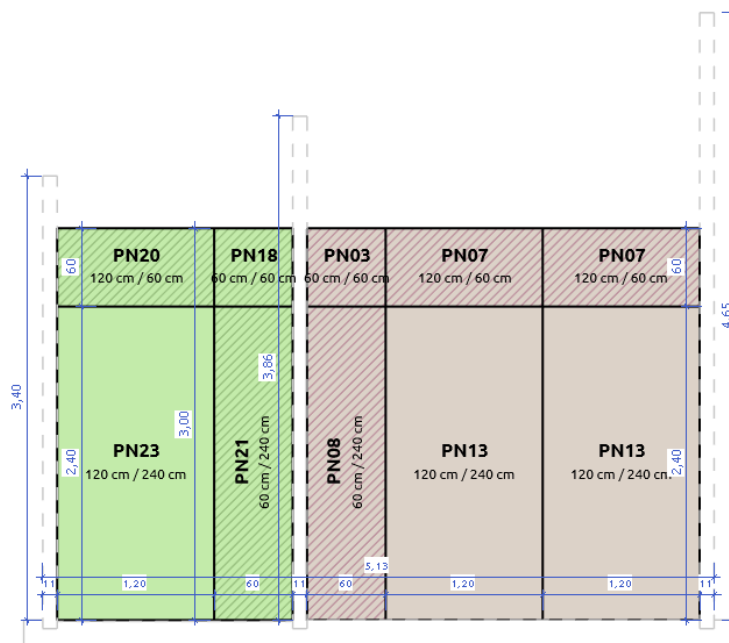
Adicionar Remover Acima Abaixo

Todos os filtros de documento são definidos e modificados aqui

OK Cancelar Aplicar Ajuda

Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Figura 52 - Exemplo de vista com sobreposição de gráficos



Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Essa diferenciação gráfica auxilia principalmente na etapa de montagem em canteiro de obras, tornando evidente onde há peças inteiras e onde há peças recortadas.

A anotação do projeto é realizada por meio de identificadores, que são famílias de anotação responsáveis por apresentar, em forma de texto nas vistas, informações extraídas diretamente dos parâmetros dos elementos modelados, permitindo transformar dados do modelo em informação gráfica legível sem a necessidade de inserções manuais. A definição desses códigos ocorre a partir da execução de uma rotina desenvolvida em Dynamo® como já descrito no capítulo 4.4.3, responsável por ler as dimensões dos painéis modelados, agrupar aqueles com medidas idênticas e atribuir automaticamente um mesmo identificador a cada conjunto.

Como exemplo, um painel pode receber a identificação PN01, associada às dimensões de 60 × 240 cm. A partir da execução da rotina, todos os painéis com essas dimensões passam a compartilhar o mesmo código, possibilitando sua quantificação em tabelas (ver figura 53), como, por exemplo, a identificação de 2 unidades do tipo PN01 em uma edificação. Essas informações podem então ser utilizadas para organizar o corte das peças fora do canteiro, sendo cada painel identificado fisicamente com o código correspondente em sua lateral. Dessa forma, durante a execução, os painéis podem ser organizados e facilmente localizados, e sua aplicação é orientada diretamente pelas vistas de elevação dos fechamentos. Essa lógica de codificação e quantificação não se restringe aos painéis de vedação, sendo igualmente aplicada às demais peças pré-fabricadas do sistema, como forros, elementos de deck e outros componentes seriados. Além do identificador de painéis, o modelo incorpora outros tipos de identificadores, como aqueles associados a materiais, descrições, ambientes, dimensões e identificação geral de elementos, que atuam de forma complementar na organização e leitura do projeto.

Figura 53: Tabela de quantitativo de painéis de Bambu de Alta Densidade

QUANTITATIVO PAINEL DE BAMBU DE ALTA DENSIDADE MOSO® BAMBOO SOLID PANEL BP-DT1000 (HIGH DENSITY)			
CÓD.	L	H	UNIDADES
CUSTOMIZADO			17
PN01	49	60	2
PN02	49	240	2
PN03	60	60	4
PN04	82	60	1
PN05	60	100	1
PN06	109	60	4
PN07	120	60	42
PN08	60	240	6
PN09	82	225	1
PN10	120	100	17
PN11	109	240	5
PN12	120	225	17
PN13	120	240	54
RECORTES DESTACADOS (VERMELHO). TOTAL DE PAINÉIS:			173

Fonte: Elaborada pelo autor (2026)

Dessa forma, o modelo BIM não é utilizado apenas como meio de representação do sistema construtivo, mas como estrutura organizadora das informações que viabilizam sua padronização, quantificação e leitura construtiva. Ao articular modelagem paramétrica, níveis de desenvolvimento compatíveis com o escopo do TFG, rotinas de automação, controle visual e identificação sistemática das peças, o BIM pode apoiar a integração de práticas construtivas em bambu, tradicionalmente baseadas em conhecimento artesanal, com processos de produção seriada e controlável. O método proposto não pretende esgotar as possibilidades de industrialização do sistema, mas estabelece uma base consistente para seu desenvolvimento futuro, indicando como fluxos digitais podem estruturar decisões projetuais, produtivas e construtivas de forma integrada e coerente.

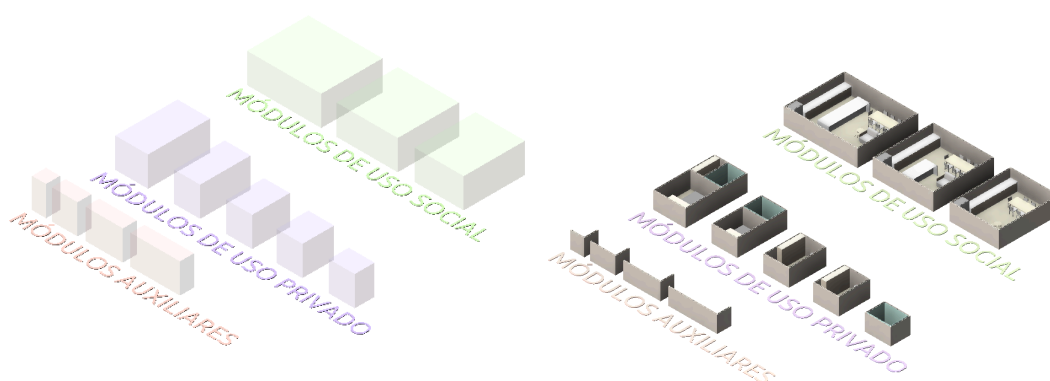
4.6 SHOWROOM E ORGANIZAÇÃO DO TEMPLATE

A gestão da informação e a estruturação do modelo foram consolidadas no desenvolvimento de um *template* específico para o sistema construtivo em bambu, concebido não apenas como um arquivo base, mas como uma ferramenta ativa de composição modular. O foco central dessa operacionalidade reside na viabilização da metodologia “*lego-like*” -

baseada nos conceitos de *Modern Modular*® do escritório *Resolution: 4 Architecture*® - através da integração de um "showroom" de Projeto (Figura 54).

Este *showroom* atua como uma biblioteca interna de ambientes pré-modelados e pré-configurados, organizados em grupos "encaixáveis" que respeitam a modulação base de 120 x 240 cm. Essa estratégia permite ao projetista agilizar a concepção de edificações customizáveis, assegurando que as regras dimensionais do sistema sejam obedecidas automaticamente durante o processo criativo.

Figura 53 - *Showroom* com grupos "encaixáveis" para a criação do projeto



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

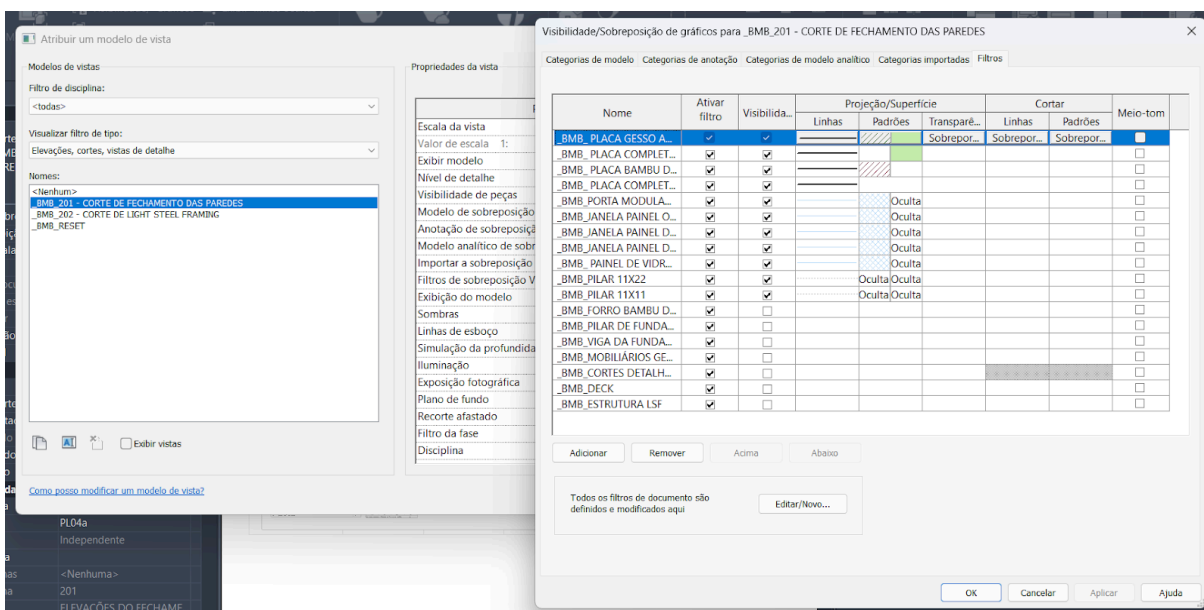
Para dar suporte a essa agilidade de modelagem e garantir a coerência entre o modelo e sua documentação, o *template* incorpora uma estrutura automatizada de organização do Navegador de Projeto. A gestão das vistas é regida por uma nomenclatura hierárquica associada diretamente às séries de pranchas, o que permite a identificação, organização e vinculação automática de plantas, cortes e detalhamentos às suas respectivas folhas. Essa lógica reduz ambiguidades na gestão simultânea de múltiplas vistas e assegura a consistência dos dados ao longo do desenvolvimento.

O controle técnico dessa organização é exercido pela aplicação sistemática de modelos de vista (*view templates*) e parâmetros personalizados. Ao serem aplicados, esses modelos ajustam simultaneamente as configurações gráficas (escalas, nível de detalhe e filtros) e o posicionamento da vista no navegador, eliminando a necessidade de organização manual.

Além da gestão estrutural, esses modelos definem a inteligência visual do projeto através de Filtros de Vista baseados em regras (*Rule-based Filters*). Conforme exemplificado

na configuração do modelo de vista “_BMB_201 - CORTE DE FECHAMENTO DAS PAREDES” (Figura 50), o sistema utiliza lógica condicional para automatizar a representação de elementos. Filtros específicos, como _BMB_PLACA GESSO e _BMB_PLACA BAMBU, aplicam instantaneamente hachuras e cores distintas para diferenciar componentes. Para complementar a legibilidade gráfica, essa automatização dos modelos de vista atua em aliança com “Vistas de Legenda” posicionadas nas folhas, garantindo que a codificação visual seja facilmente interpretada. Essa estratégia assegura que a documentação gráfica seja uma consequência direta das informações das famílias parametrizadas, eliminando a necessidade de ajustes manuais.

Figura 50 - Interface de configuração de Filtros de Vista dentro do modelo _BMB_201 - CORTE DE FECHAMENTO DAS PAREDES, demonstrando o controle de visibilidade e sobreposição gráfica.



Fonte: Elaborada pelo autor (2026).

CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Trabalho Final de Graduação investigou de que forma estratégias de pré-fabricação leve, associadas a fluxos digitais baseados em BIM, podem contribuir para a aplicação sistematizada do bambu na arquitetura residencial no contexto brasileiro. Partiu-se do entendimento de que a limitada inserção do bambu na construção civil não decorre de suas propriedades materiais, mas da ausência de processos projetuais, produtivos e informacionais capazes de torná-lo competitivo com sistemas construtivos mais previsíveis e replicáveis.

A revisão teórica indicou que a pré-fabricação deve ser compreendida como uma estratégia projetual aplicável a diferentes escalas e níveis de complexidade, incluindo sistemas híbridos. Nesse contexto, a classificação em componentes, painéis e módulos mostrou-se relevante para estruturar decisões relacionadas à fabricação, transporte e montagem. A incorporação dos princípios do *Design for Manufacturing and Assembly* reforçou a importância de antecipar, ainda na fase de projeto, as lógicas produtivas e construtivas.

O desenvolvimento do sistema construtivo proposto e do *template* paramétrico evidenciou o potencial do BIM, em especial do Autodesk® Revit®, como plataforma de integração entre modelagem, gestão da informação e documentação técnica. A adoção estratégica do LOD 300 mostrou-se adequada ao escopo do trabalho, ao priorizar coordenação geométrica e clareza construtiva, evitando a falsa precisão associada a níveis mais avançados de detalhamento.

Como resultado, o trabalho demonstra que a articulação entre BIM, pré-fabricação leve e bambu constitui uma abordagem coerente para ampliar o uso desse material em edificações residenciais térreas. O *template* desenvolvido configura-se como uma base metodológica aberta, destinada a apoiar arquitetos no uso sistematizado do bambu como material base do projeto de arquitetura.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Caio Cesar Veloso; CARBONARI, Gilberto. Laje mista de bambu-concreto leve: estudo teórico e experimental. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 3, n. 2, p. 50-57, 2017.

Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/240232/ANAIS%20ENSUS%202017-260-271%20%283%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 fev. 2026.

ARCHDAILY. Aserraderos. 2020. 1 fotografia. Disponível em:

https://images.adsttc.com/media/images/5e56/d257/6ee6/7ede/a700/00de/large_jpg/aserraderos.jpg?1582748240. Acesso em: 3 fev. 2026.

ARUP ASSOCIATES. Arup desenvolve protótipo de edificação baseada em princípios de economia circular. **ArchDaily Brasil**, 2017. Disponível em:

<https://www.archdaily.com.br/br/871726/arup-desenvolve-prototipo-de-edificacao-baseada-em-principios-de-economia-circular>. Acesso em: 26 jul. 2025.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. **Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10**. Bogotá, 2010.

Autodesk. **BIM - Building Information Modeling**. 2024. Disponível em:

<https://www.autodesk.com/solutions/aec/bim>. Acesso em: 20 jul. 2025.

Autodesk. **CNC software for machining and manufacturing - Autodesk Fusion**. San Francisco: Autodesk, [s.d.]. Disponível em:

<https://www.autodesk.com/solutions/cnc-machining-software>. Acesso em: 25 jul. 2025.

Autodesk. **Dynamo® for Revit: Visual programming for building information modeling**.

Disponível em: <https://www.autodesk.com/br/support/technical/product/dynamo>. Acesso em: 24 jul. 2025.

Autodesk. **Inventor: 3D CAD software for product design and engineering**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>. Acesso em: 24 jul. 2025.

Autodesk. **Levels of Development (LOD) in BIM: enabling coordination and collaboration.** [S. l.]: Autodesk, [2026]. Disponível em: <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>. Acesso em: 2 fev. 2026.

Autodesk. **O que é BIM?**. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>. Acesso em: 4 ago. 2025.

Autodesk. **Revit 2023 Help: Creating Adaptive Components.** Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/RVT/2023/ENU/?guid=GUID-2CE96E40-0FC0-4C85-B9A9-043C7B1BA92F>. Acesso em: 24 jul. 2025.

Autodesk. **Revit: Building design software.** Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview>. Acesso em: 24 jul. 2025.

Autodesk UNIVERSITY. **Revolutionizing prefabricated buildings: uniting Revit, Inventor and BIM integration.** Las Vegas: Autodesk University, 2024. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Revolutionizing-Prefabricated-Buildings-Uniting-Revit-Inventor-and-BIM-Integration-2024>. Acesso em: 25 jul. 2025.

Autodesk UNIVERSITY. **Rooms as a product: enabling prefabrication for hotels and multi-family structures.** Las Vegas: Autodesk University, 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Rooms-as-a-Product-Enabling-Prefabrication-for-Hotels-and-Multi-Family-Structures-2023>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BAMBOOECO. **FOLDER DIGITAL BAMBOOECO.** Curitiba: BambooEco, [s.d.]. Disponível em: <https://www.bambooeco.com.br>. Acesso em: 3 fev. 2026.

BAMBOO LIVING HOMES. **Building with Bamboo.** Disponível em: <https://www.bambooliving.com>. Acesso em: 28 jun. 2025.

BAMBUGALÔ. **Bambugalô Brisa.** Aquiraz: Bambugalô, 2024. Disponível em: <https://www.bambugalo.com.br/bambugalo-brisa>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BAMBUGALÔ. **Vista frontal do modelo Brisa em ambiente natural.** Aquiraz: Bambugalô, 2024. Renderização digital. Disponível em:

<https://www.bambugalo.com.br/bambugalo-brisa?lightbox=dataItem-l8nkdvfu1>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BARAVELLI, José Eduardo. **Trabalho e tecnologia no programa MCMV**. 2014. 226 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.bezerra

BBC NEWS. **Construction of Uni-Seco prefabs in 1945 on a site damaged in the Blitz, in Greenwich**. [S. l.], 26 abr. 2024. Disponível em:

<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-68922873>. Acesso em: 20 jul. 2025.

BERALDO, Antonio Ludovico; RIVERO, Lourdes Abbade. Bambu laminado colado (BLC). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 36-46, ago./dez. 2003.

BEZERRA, Pedro Henrique Pinto; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda; SCHEER, Sergio. BIM no planejamento de empreendimentos com sistemas de painéis pré-fabricados: uma alternativa para obras de habitação social. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 9, n. 3, p. 228-239, set. 2018. Disponível em:

<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650218>. Acesso em: 26 jul. 2025.

BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification**. [S. l.]: BIMForum, 2024.

Disponível em: <https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>. Acesso em: 2 fev. 2026.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Resolução nº 11, de 21 de setembro de 2022**. Estabelece normas e procedimentos para o transporte de cargas indivisíveis e excedentes em peso e/ou dimensões e para o trânsito de veículos especiais em rodovias federais. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 23 set. 2022. Disponível em:

<https://www.gov.br/dnit/pt-br/central-de-conteudos/atos-normativos/tipo/resolucoes/resolucao-no-11-2022>. Acesso em: 3 fev. 2026.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL. **Industry Foundation Classes (IFC)**. London: buildingSMART International, [s.d.]. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CAIXA. **Crédito Imobiliário para Construção ou Reforma**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/voce/habitacao/construcao/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 15 ago. 2025.

CUBO MODULAR INC. **About us**. Manila: Cubo Modular Inc., 2025a. Disponível em: <https://cubo.ph/pages/about-us>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CUBO MODULAR INC. **Corte isométrico do modelo Bulacan**. Manila: Cubo Modular Inc., 2025. Captura de tela. Disponível em: <https://cubo.ph/products/bulacan>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CUBO MODULAR INC. **Our homes**. Manila: Cubo Modular Inc., 2025b. Disponível em: <https://cubo.ph/pages/our-homes>. Acesso em: 25 jul. 2025.

CUBO MODULAR INC. **Surigao model**. Manila: Cubo Modular Inc., 2025c. Disponível em: <https://cubo.ph/products/surigao>. Acesso em: 25 jul. 2025.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors**. 2. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014. Disponível em: https://www.benardmakaa.com/wp-content/uploads/2021/11/BIM-Handbook_-A-Guide-to-Building-Information-Modeling-for-Owners-Designers-Engineers-Contractors-and-Facility-Managers-Wiley-2018.pdf. Acesso em: 30 jan. 2026.

Ferreira, Rodrigo Pedra. **Utilização de Bambu na Construção Sul-americana - Revisão tecnológica**. 2021. Dissertação (Mestrado em Projeto Integrado na Construção de Edifícios) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2021.

FINKENZELLER, Klaus. **RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards, radio frequency identification and near-field communication**. 3. ed. Chichester: Wiley, 2010.

FLORA DIGITAL. **Dendrocalamus giganteus Wall. ex Munro**. [s.d.]. Imagem digital. Disponível em: https://floradigital.ufsc.br/open_sp.php?img=24686. Acesso em: 7 ago. 2025.

FRANCO, José Tomás. Quão eficiente é o bambu para aplicações estruturais? **ArchDaily Brasil**, 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/934550/quao-eficiente-e-o-bambu-para-aplicacoes-estruturais>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GARDENIA.NET. **Bambusa vulgaris ‘Vittata’ (Painted Bamboo)**. [s.d.]. Imagem digital. Disponível em: <https://gardenia.net/plant/bambusa-vulgaris-vittata>. Acesso em: 7 ago. 2025.

GRAPHISOFT. **Archicad - BIM by architects for architects**. Budapest: Graphisoft, [s.d.]. Disponível em: <https://www.graphisoft.com/plans-and-products/archicad/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

GRAPHISOFT. **BIMx - BIM Explorer**. Disponível em: <https://graphisoft.com/solutions/bimx>. Acesso em: 26 jul. 2025.

GRAPHISOFT. **NOEM: Architectural Case Study - Archicad helps achieve the accuracy needed to build sustainable modular homes**. Disponível em: <https://www.graphisoft.com/br/case-studies/noem-architectural-case-study-archicad-helps-achieve-the-accuracy-needed-to-build-sustainable-modular-homes>. Acesso em: 24 jul. 2025.

GUNAWARDENA, Tharaka; MENDIS, Priyan. Prefabricated construction systems: design, production and assembly. In: NASSAR, Khaled; MEGHELLI, Larbi (ed.). **Encyclopedia of Precast/Prefabricated Construction Systems: Design and Construction**. [S.l.]: International Information Portal Series (IIP Series), 2022. v. 2, n. 1, p. 70-95. Disponível em: <https://iipseries.org/assets/docupload/rs1202434F2CBD0A052B04.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2025.

IMOBIREPORT. **Construção modular promete crescer no Brasil em 2024**. [S. l.], 2024.

Disponível em:

<https://imobireport.com.br/imobiliario/construcao-modular-promete-crescer-no-brasil-em-2024/>.

Acesso em: 15 ago. 2025.

IMPERIALE, Alicia. An American wartime dream: the Packaged House system of Konrad Wachsmann and Walter Gropius. In: ACSA FALL CONFERENCE, 2012, Filadélfia. **Anais...** Filadélfia: ACSA, 2012. p. 39-43.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Informações sobre madeiras: fichas de características**. São Paulo: IPT, 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16696-1:2019 - Timber structures - Cross-laminated timber - Part 1: Appearance classification and minimum property requirements**. Geneva, 2019.

LAGE, Maurício; VALE, Clécio Magalhães do. Pré-fabricação: o conceito, sua utilização e alguns desacordos na produção científica brasileira. **Revista Projetar**, v. 9, n. 2, p. 186-198, maio 2024.

MARÇAL, Vitor Hugo Moreira. **Uso do bambu na construção civil: uma análise da viabilidade técnica e econômica no cenário brasileiro**. 2020. 87 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; MELO, Reymard Savio Sampaio de. Lessons learned from adopting modular construction in Brazil: A start-up journey. In: MODULAR AND OFFSITE CONSTRUCTION SUMMIT, 2022, Edmonton. **Proceedings: Lessons learned from adopting modular construction in Brazil: A start-up journey**. Edmonton: MOC Summit, 2022. p. 58-65.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo**. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado em

Desenho Industrial) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2007.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tamanho do mercado de edifícios pré-fabricados no Brasil e análise de participação.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/brazil-prefabricated-buildings-market>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MOREIRA, T. A. **Pré-fabricação: Bambu e Microconcreto.** Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Departamento de Arquitetura, 2022.

MOSO INTERNATIONAL BV. **Bamboo Technical Guide: High Density Bamboo Panels.** Zwaag, The Netherlands: MOSO, 2023. Disponível em: <https://www.moso-bamboo.com>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MOSO INTERNATIONAL. **MOSO® Bamboo X-treme®: Technical Data Sheet.** Zwaag: MOSO International BV, 2023. Disponível em: <https://www.moso-bamboo.com/wp-content/uploads/EN-Datasheet-Bamboo-X-treme-Outdoor-Cladding.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2026.

MOSO INTERNATIONAL B.V. **Tablero Macizo de bambú MOSO®: ficha técnica del producto.** [S. l.], 2023.

MOURA, Marcos Antônio; CABRAL, Henrique; MOURA, Thiago. Patterns and trends in the use of RFID within the construction industry and Digital Twin architecture: a Latent Semantic Analysis. **Philosophical Magazine**, v. 104, n. 16, p. 1823-1844, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14786451.2024.2421281>. Acesso em: 25 jul. 2025.

NATIONAL COMMISSION FOR CULTURE AND THE ARTS. **Bayanihan.** Manila, 2023. Disponível em: <https://ncca.gov.ph/bayanihan>. Acesso em: 26 jul. 2025.

NÚÑEZ-RETANA, Victor Daniel. **Figura 1 - uploaded by Victor Daniel Núñez-Retana.** [2025]. Fotografia digital. Disponível em:

https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Plantacion-de-bambu-Guadua-angustifolia_fig4_357861845. Acesso em: 7 ago. 2025.

O ESPECIALISTA. **Desafios em escala na Construção Civil e a solução modular**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://oespecialista.com.br/opinioes/desafios-em-escala/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

OPUS CONSTRUTECH. **Quais são os tipos de construção pré-fabricada? Descubra agora!**. [S. l.]. Disponível em: <https://opuscm.com.br/construcao-pre-fabricada/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

PANORAMA MÓVEIS. **108 Modelos de casas Pré-Fabricadas para se inspirar**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://www.panoramamoveis.com.br/blog/casas-pre-fabricadas>. Acesso em: 15 ago. 2025.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Infraestrutura e Logística. Departamento de Estradas de Rodagem. **Caderno BIM: infraestrutura rodoviária**. 1. ed. Curitiba: DER/PR, 2023.

Disponível em:

https://www.bim.pr.gov.br/sites/bim/arquivos_restritos/files/documento/2023-02/CadernoBIM.pdf. Acesso em: 2 fev. 2026.

PASSERELLES. **Le procédé Camus**. [S. l.]: Bibliothèque nationale de France, [s.d.].

Disponível em:

<https://passerelles.essentiels.bnf.fr/fr/chronologie/construction/37ca9d91-a437-4197-b26f-27ca609f6128-reconstruction-havre/article/676b36a0-c55a-48e3-8674-c516ae7e756b-procede-camus>. Acesso em: 20 jul. 2025.

PASSIVE HOUSE INSTITUTE. **Passive House requirements**. Darmstadt: Passive House Institute, [s.d.]. Disponível em:

https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm. Acesso em: 25 jul. 2025.

PROBOTIX. **CNC Routers and Accessories**. 2025. Disponível em:

<https://www.probotix.com/CNC-ROUTERS>. Acesso em: 25 jul. 2025.

RESOLUTION: 4 ARCHITECTURE®. **Detalhes de deck e fachada na North Fork Bluff House**. New York: Resolution: 4 Architecture®, 2017. Fotografia digital. Disponível em: <https://www.re4a.com/prefab#/north-fork-bluff-house/>. Acesso em: 25 jul. 2025.

RESOLUTION: 4 ARCHITECTURE®. **North Fork Bluff House**. New York: Resolution: 4 Architecture®, 2018. Disponível em: <https://www.re4a.com/north-fork-bluff-house>. Acesso em: 24 jul. 2025.

RESOLUTION: 4 ARCHITECTURE®. **The Modern Modular®**. New York: Resolution: 4 Architecture®, [s.d.]. Disponível em: <https://www.re4a.com/the-modern-modular>. Acesso em: 24 jul. 2025.

REVISTA EMPREENDE. **O Desafio das Construções Modulares no Brasil e Sua Importância em Situações de Desastre**. [S. l.], 2024. Disponível em: <https://revistaempreende.com.br/o-desafio-das-construcoes-modulares-no-brasil/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

RICHARD, Roger-Bruno. Industrialized building system categorization. In: SMITH, Ryan E.; QUALE, John D. (Ed.). **Offsite architecture: constructing the future**. Routledge, 2017. p. 3-20.

SACKS, R. *et al.* Building Lean, Building BIM: Improving Construction the Tidhar Way. **Construction Management and Economics**, v. 36, n. 12, p. 1-19, 2018. Disponível em: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781315300504_A31873708/preview-9781315300504_A31873708.pdf. Acesso em: 30 jan. 2026.

SANTOS, Silmara Borges dos; ROSA, Maxer Antonio; WILLRICH, Fábio Luiz; LIMA JÚNIOR, Humberto Correia. Viabilidade da utilização de estruturas compósitas à base de bambu laminado colado. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CIC/UNIOESTE, 2022, Cascavel. **Anais do Congresso de Iniciação Científica da UNIOESTE 2022**. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2022.

SARAMAGO, R. C. P. **Arquitetura sustentável? Quando o discurso não mais sustenta um futuro para a prática arquitetônica**. São Carlos: IAU-USP, 2022.

SIENGE. **Casas pré-fabricadas: déficit habitacional favorece o crescimento do setor.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://sienge.com.br/blog/casas-pre-fabricadas-crescimento-do-setor/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

SILVA, Alejandro Luiz Pereira da *et al.* **Sistema construtivo pré-fabricado: bambu com micro concreto.** Maceió: Instituto do Bambu, 2022. Manual técnico. Documento recebido por e-mail do Prof. Tomas Queiroz Ferreira Barata (USP), em 26 jul. 2025.

SMITH, R. E. **Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction.** Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Prefab+Architecture%3A+A+Guide+to+Modular+Design+and+Construction-p-9780470275610>. Acesso em: 30 jan. 2026.

Souza, Diego Beja Inglez de. **Reconstruindo Cajueiro Seco: Arquitetura, política social e cultura popular em Pernambuco (1960-64).** 2008. 216 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

TECHOME. **Diferentes tipos de casas pré-fabricadas: modelos, estilos e mais.** [S. l.], 2023. Disponível em: <https://techome.app/blog/tipos-de-casas-pre-fabricadas/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

TRANE. **What is HVAC?** [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.trane.com/residential/en/resources/glossary/what-is-hvac/>. Acesso em: 02 fev. 2026.

ULTRAOBRA. **Desafios e Soluções na Implementação da Construção Modular: O que Você Precisa Saber Antes de Começar.** [S. l.], 2025. Disponível em: <https://ultraobra.com/2025/05/20/167-desafios-e-solucoes-na-implementacao-da-construcao-modular-o-que-voce-precisa-saber-antes-de-comecar/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

VALE, Daniel da Silva. **Industrialização de instalações de edifícios: a pré-construção modular utilizando princípios BIM**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Porto, Porto, 2022.

WRIGHT, Frank Lloyd. **American System-Built Houses for The Richards Company project, Milwaukee, Wisconsin (Plan and elevations)**. 1915-17. Disponível em: <https://www.moma.org/collection/works/163812>. Acesso em: 17 ago. 2025.

APÊNDICE I – DECLARAÇÃO DE IAGen E TECNOLOGIAS ASSISTIDAS POR IAGen NO PROCESSO DE ESCRITA CIENTÍFICA

Durante a preparação deste documento, eu, Daniel Ferreira Pinto, estudante de Graduação do curso de Arquitetura e Urbanismo, declaro o uso de IAGen Google Gemini versão de 04/02/2026 para geração de ilustração técnica do sistema construtivo e para revisão e reestruturação de seções com ambiguidade ou imprecisão em todo o trabalho, com o objetivo de aprimorar a objetividade dos temas abordados e otimizar a fluidez da leitura do TFG.

Após o uso desta ferramenta, a pessoa autora revisou e editou o conteúdo em conformidade com os princípios éticos para uso de IAGen (resolução CONPEP 143) e com os acordos estabelecidos com a pessoa orientadora da pesquisa. Dessa forma, assumo total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.

Especificação das etapas nas quais a IA foi utilizada, incluindo os prompts:

PARTE 1 (GERAÇÃO DE IMAGEM):

Etapas da pesquisa: Elaboração de figuras e ilustrações técnicas.

Ferramenta utilizada: Google Gemini (Modelo de geração de imagens).

Data de utilização: 04 de fevereiro de 2026.

Descrição do processo: A ferramenta foi utilizada para gerar uma representação visual em alta definição de uma treliça de bambu preenchida com concreto, baseada visualmente e tecnicamente no sistema descrito por SILVA et al. (2022). A imagem original do manual técnico foi utilizada como referência visual (input) para o modelo.

Comando (Prompt) utilizado: "gere uma imagem com alta definição que mostre apenas um exemplar do que está nessa imagem: é uma treliça de bambu que fica dentro de uma forma e é envolta com concreto, de tal forma que são produzidos peças que podem ser encaixados e empilhados para construir paredes"

PARTE 2 (REVISÃO TEXTUAL):

Etapa da pesquisa: Revisão e reestruturação de seções com ambiguidade ou imprecisão em todo o trabalho.

Ferramenta utilizada: Google Gemini.

Data de utilização: 04 de fevereiro de 2026.

Descrição do processo: A ferramenta digital empregada foi fundamental no processo de revisão e aprimoramento textual do trabalho de conclusão de curso (TFG). Seu uso principal concentrou-se na identificação e reestruturação de seções que apresentavam qualquer grau de ambiguidade, imprecisão ou falta de clareza na sua formulação original.

O objetivo primordial dessa intervenção assistida por tecnologia foi elevar a objetividade dos temas abordados ao longo do TFG, assegurando que as informações fossem comunicadas de forma direta e inequívoca. Além disso, buscou-se otimizar a fluidez e a coesão da leitura, tornando o texto mais acessível e agradável para o leitor. Essa revisão minuciosa, auxiliada pela ferramenta, contribuiu significativamente para a qualidade final e a precisão acadêmica do trabalho.

Comando (Prompt) utilizado: "Revise o texto a seguir com rigor acadêmico, focando na eliminação de ambiguidades, imprecisões e falta de clareza. Mantenha as informações e o sentido original do conteúdo, reescrevendo-o apenas para elevar a objetividade, melhorar a fluidez e a coesão. O objetivo é garantir a máxima precisão acadêmica."