

DIGITALIZAÇÃO PARAMÉTRICA DE UM PRODUTO INOVADOR (UTS) COM FAMÍLIAS, PDT E ROTINAS DYNAMO

Gonçalo Azevedo⁽¹⁾, Carolina Rua⁽²⁾, Luís Sanhudo⁽³⁾, Mohamad El Sibaii⁽⁴⁾, José Granja⁽⁵⁾, Miguel Azenha⁽⁶⁾

(1) BUILT CoLAB, Lisboa, 0009-0005-8411-6071

(2) BUILT CoLAB, Lisboa, 0009-0002-3359-5453

(3) BUILT CoLAB, Porto, 0000-0002-2578-6981

(4) ISISE, Guimarães, 0000-0002-0810-9241

(5) ISISE, Guimarães, 0000-0002-0858-4990

(6) ISISE, Guimarães, 0000-0003-1374-9427

Resumo

A crescente necessidade de adoção de sistemas construtivos industrializados em madeira, como alternativa a soluções tradicionais em betão armado, coloca desafios relevantes à sua representação consistente em ambientes *Building Information Modelling* (BIM). Neste contexto, o artigo apresenta uma abordagem metodológica para a digitalização BIM de um sistema de lajes em madeira de elevada complexidade, utilizando o *Universal Timber Slab* (UTS) como caso de estudo.

O trabalho descreve o desenvolvimento de um conjunto integrado de famílias BIM paramétricas, concebidas para traduzir a lógica construtiva do sistema, estruturadas segundo princípios openBIM e suportadas por um *Product Data Template* (PDT) conforme as normas EN ISO 23386 e EN ISO 23387. O PDT permite estruturar e normalizar a informação técnica, material e de ciclo de vida associada aos elementos, assegurando consistência semântica e interoperabilidade entre plataformas.

Para apoiar a correta utilização das famílias e reduzir tarefas repetitivas de modelação, foram implementadas rotinas *Dynamo* que testam a segmentação da laje, identificando os apoios e estabelecendo a ligação entre os diferentes componentes do sistema. Estes automatismos contribuem para a coerência do modelo em fase de projeto e para a disponibilização de informação estruturada para fases posteriores.

O artigo discute, através da articulação entre PDT, famílias paramétricas e automação de que forma é possível desenvolver um ecossistema BIM coerente para a representação de sistemas construtivos industrializados e complexos. A abordagem apresentada é enquadrada enquanto metodologia transferível para a modelação BIM de produtos construtivos com características semelhantes no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO).

1. Introdução

A integração de sistemas construtivos complexos em ambiente BIM coloca desafios que vão além da simples representação geométrica dos elementos, uma vez que a utilização do BIM, apenas como modelo tridimensional simbólico, limita o potencial de utilização da informação. Assim, torna-se necessário que o modelo BIM represente não só a forma, mas também a lógica construtiva e a informação relevante associada aos componentes, de modo a permitir a sua utilização consistente e a integração com outras extensões digitais ao longo do ciclo de vida [1].

Neste contexto, o presente artigo aborda a integração em ambiente BIM do sistema construtivo UTS, com o intuito de testar a representação de um sistema físico complexo para um modelo digital estruturado, permitindo simular o seu comportamento e funcionamento em ambiente BIM. O trabalho centra-se na forma como a modelação paramétrica, a estruturação da informação e o recurso a mecanismos de apoio à modelação contribuem para esse objetivo.

Paralelamente, é apresentada a definição de um PDT que permite identificar, estruturar e normalizar os dados alfanuméricos associados aos elementos do sistema, garantindo coerência semântica e preparando o modelo para interoperabilidade e evolução futura.

O artigo pretende demonstrar uma abordagem à digitalização BIM de sistemas construtivos complexos, cujo conhecimento pode ser transferido e adaptado a outros sistemas semelhantes ou análogos, contribuindo para a reflexão sobre diferentes estratégias de digitalização de sistemas elevada complexidade em contexto BIM.

Para além da presente secção introdutória, a Secção 2 apresenta o enquadramento do caso de estudo, descrevendo o sistema UTS e as suas principais características conceptuais e construtivas. A Secção 3 expõe a estratégia de modelação paramétrica adotada, detalhando a definição das unidades funcionais Vão e Apoio e o desenvolvimento das respetivas famílias. A Secção 4 aborda os automatismos implementados com recurso ao Dynamo, enquadrando a sua articulação com o *Intelligent Decision Support System* (IDSS) e apresentando os ensaios de interligação e segmentação realizados. A Secção 5 descreve a estratégia de materialidade e representação visual adotada, enquanto a Secção 6 trata da exportação IFC e da validação da interoperabilidade. A Secção 7 apresenta o desenvolvimento do PDT e o respetivo enquadramento normativo e, por fim, a Secção 8 reúne as principais conclusões e contributos do trabalho.

2. Enquadramento – *Universal Timber Slab*

O UTS, é um sistema construtivo em madeira desenvolvido para a execução de lajes estruturais apoiadas pontualmente, aplicável a edifícios de múltiplos pisos e inserido no domínio das soluções de laje estrutural tradicionalmente resolvidas com sistemas em betão armado. O sistema foi concebido para responder a geometrias em planta variáveis e a configurações estruturais não regulares, permitindo a definição de lajes com geometrias não ortogonais e diferentes disposições de apoio.

Do ponto de vista conceptual e construtivo, o sistema baseia-se numa lógica segmentada, na qual a laje não é tratada como um elemento monolítico, mas como o resultado da combinação de múltiplas unidades. Estas unidades correspondem a segmentos pré-fabricados, constituídos por conjuntos de lamelas de madeira laminadas segundo trajetórias variáveis, cuja organização

é ajustada em função da geometria da laje e das condições locais de apoio. Esta abordagem permite adaptar a solução a requisitos específicos de cada projeto, conduzindo a soluções otimizadas e customizadas. Na Figura 1 é possível observar uma vista em planta e perspetiva deste tipo de laje.

A configuração sistema, desde as lamelas até à laje global, permite ganhos ao nível da eficiência estrutural e material, mas consequentemente introduz também um elevado grau de complexidade na representação do sistema. Elementos como a segmentação, a orientação das lamelas e as ligações entre componentes são determinantes para o comportamento estrutural e para os processos de fabrico. Esta complexidade torna o UTS um caso adequado para discutir abordagens de representação em ambiente BIM, desenvolvidas nos capítulos seguintes.

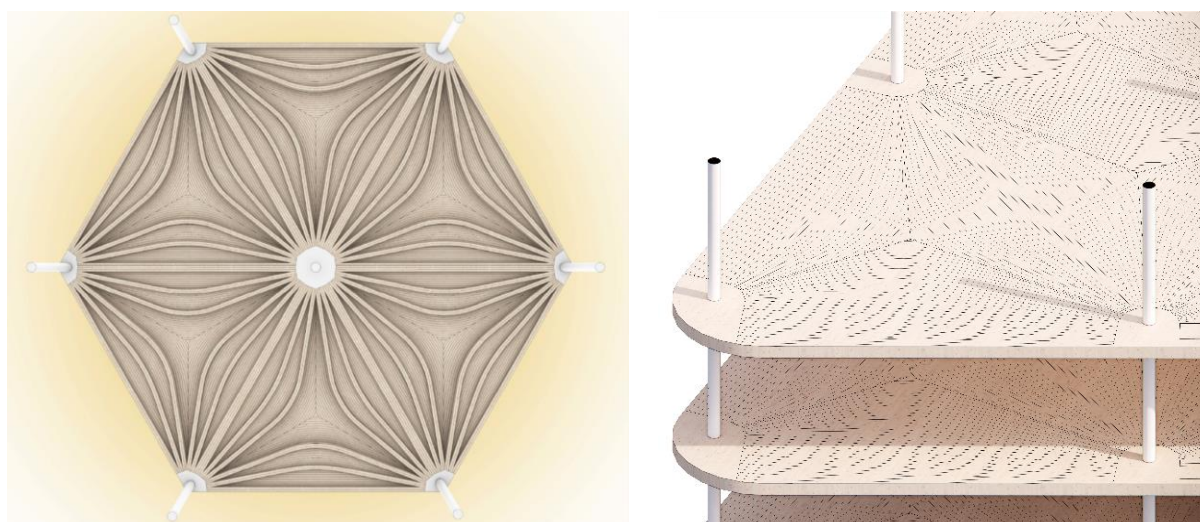


Figura 1: Vista em planta e perspetiva do sistema UTS

3. Modelação paramétrica

3.1 Estratégia de modelação: Vão e Apoio

A estratégia de modelação paramétrica adotada para a digitalização BIM do sistema UTS teve como ponto de partida a definição do nível de granularidade mais adequado para representar a laje em ambiente BIM. Numa fase inicial, foi considerada a possibilidade de modelar a laje como um único elemento, concentrando num só objeto toda a geometria e informação associada ao sistema. Contudo, face à complexidade construtiva da laje, composta por lamelas e grupos e segmentos, e também devido aos objetivos de coordenação, interoperabilidade e gestão da informação definidos, concluiu-se que essa abordagem não oferecia a flexibilidade necessária para aplicar o sistema, com as suas diferentes variáveis, consoante o projeto a desenvolver.

Em alternativa, optou-se por uma simplificação deliberada, baseada na decomposição da laje em unidades funcionais. Neste contexto, o Vão (*Bay*) foi definido como a unidade fundamental de modelação. Cada Vão corresponde a uma subdivisão funcional da laje, resultante da lógica de segmentação do sistema, e constitui um elemento autónomo, portador da informação geométrica e alfanumérica necessária para a sua identificação, coordenação e integração no conjunto da laje. Esta opção permitiu estruturar o modelo de forma modular e escalável,

facilitando a adaptação a diferentes configurações geométricas e a gestão de múltiplas instâncias.

Complementarmente, os Apoios (*Supports*) foram modelados como entidades independentes, representando exclusivamente as condições locais de apoio da laje. No modelo BIM, os Apoios não têm significado isolado, adquirindo relevância apenas através da sua relação com um ou mais Vãos. A distinção clara entre Vãos e Apoios permite tornar explícitas no modelo digital relações que, de outro modo, permaneceriam implícitas, contribuindo para uma maior clareza e legibilidade da estrutura do sistema.

Esta estratégia, permite reduzir a complexidade do modelo BIM, mantendo apenas os elementos essenciais para descrever o comportamento global da laje.

3.2 Modelação do Vão

O Vão foi modelado como uma família BIM autónoma e paramétrica. A sua geometria corresponde ao conjunto global do segmento de laje, sem incluir a modelação explícita de lamelas ou ligações construtivas, permitindo abstrair a complexidade física do sistema e concentrar a modelação nos aspetos relevantes para coordenação e gestão da informação.

A família foi parametrizada com um conjunto restrito e controlado de parâmetros geométricos, permitindo a adaptação a diferentes configurações da laje, nomeadamente ao nível das dimensões globais. Esta parametrização foi concebida de forma a garantir estabilidade da família e facilitar a replicação e modificação de instâncias. Adicionalmente, o Vão integra parâmetros informativos destinados à identificação e classificação do elemento, organizados de forma consistente e agrupados num conjunto dedicado, assegurando uniformidade entre famílias e alinhamento com uma estrutura de dados preparada para interoperabilidade.

Na Figura 2 é possível observar o elemento modelado em ambiente *Autodesk Revit* e os parâmetros associados criados.

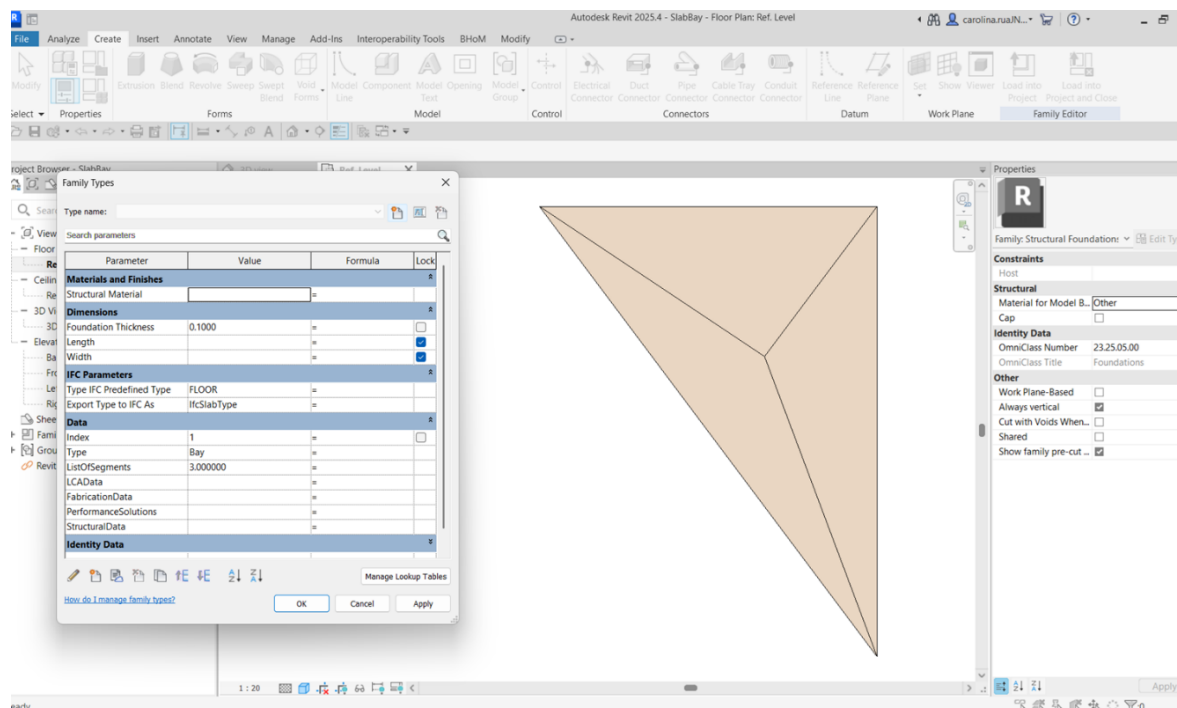


Figura 2: Exemplo de família BIM do Vão, em ambiente *Autodesk Revit*

3.3 Modelação do Apoio

Na modelação do elemento Apoio, foram identificadas duas categorias principais: apoios lineares e apoios verticais. Apenas foi modelado o apoio vertical, pois os apoios lineares estão normalmente representados por elementos nativos do ambiente BIM, modelados diretamente em cada projeto de acordo com a sua configuração específica. A criação de uma família dedicada para o Apoio vertical permitiu maior controlo sobre os parâmetros e a sua integração com os Vãos.

A família do Apoio foi desenvolvida como um elemento paramétrico simples, com geometria abstrata, representando exclusivamente a posição e a função do apoio no sistema. A parametrização permite ajustar dimensões básicas, como altura e secção, sem introduzir detalhes construtivos específicos.

Tal como no caso do Vão, a família do Apoio inclui parâmetros informativos destinados à identificação, categorização e ligação ao sistema. Estes parâmetros permitem descrever o tipo de apoio e a sua relação com os Vãos, reforçando o seu papel como elemento relacional no modelo BIM. Na Figura 3 é possível observar o elemento Apoio modelado em ambiente *Autodesk Revit* e os parâmetros associados criados.

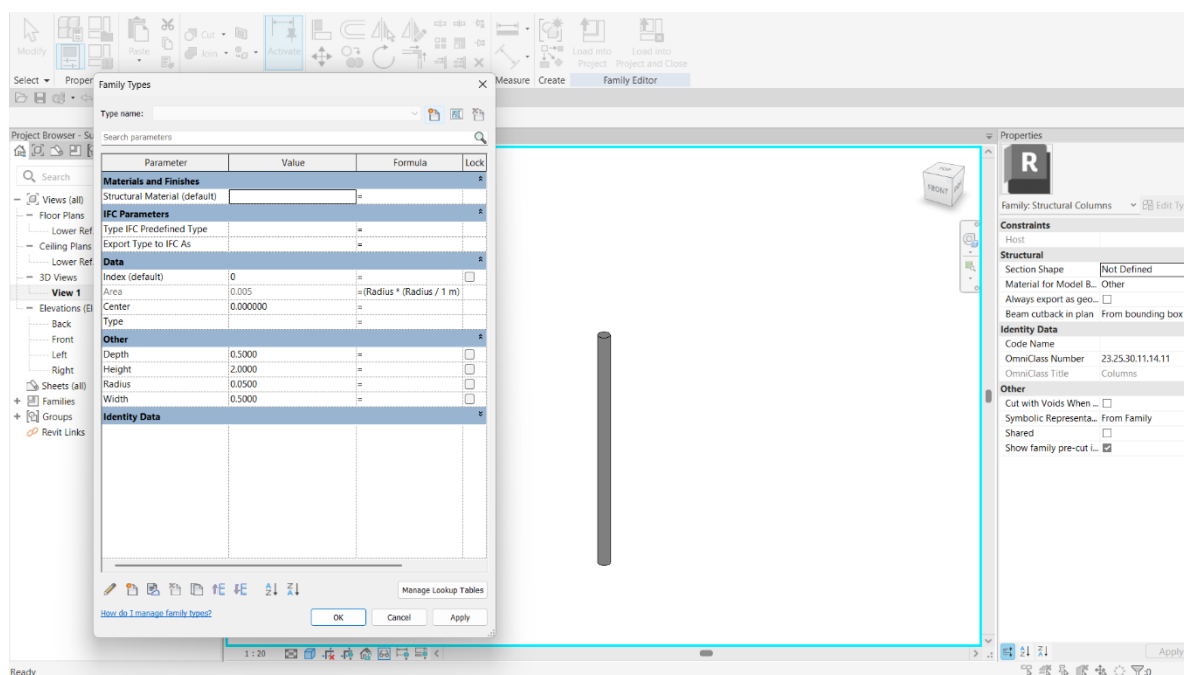


Figura 3: Família do apoio Apoio em ambiente *Autodesk Revit*

4. Automatismos de apoio à interligação de elementos com recurso a *Dynamo*

Após a definição da estratégia de modelação e o desenvolvimento das famílias BIM do sistema UTS, tornou-se necessário testar, em ambiente BIM, a forma como os diferentes elementos interagem quando utilizados em conjunto num determinado projeto. Particularmente, interessava verificar se a distinção entre Vãos e Apoios, adotada como base da estratégia de modelação, permitia representar de forma explícita, consistente e legível as relações entre segmentos da laje e as respetivas condições de apoio.

A necessidade desta verificação enquadra-se numa lógica de antecipação da futura integração do sistema UTS com o IDSS. O IDSS tem como objetivo analisar edifícios em ambiente BIM e avaliar, de forma automatizada, a aplicabilidade do sistema UTS, identificando vantagens e limitações face a soluções estruturais convencionais. Para que esta integração seja viável, o modelo BIM deve cumprir requisitos estruturais específicos, nomeadamente a existência de relação entre Vãos e Apoios e a capacidade de subdivisão dos vãos.

Neste contexto, o *Dynamo* foi utilizado para o desenvolvimeto destes automatismos, constituindo assim uma etapa de pré-validação do modelo BIM, assegurando que as famílias criadas se encontram alinhadas com os requisitos de interoperabilidade e estrutura de dados necessários à futura articulação com o IDSS. Em termos operacionais, as rotinas desenvolvidas recebem como input a geometria e a posição relativa dos elementos modelados, processam regras de associação entre Vãos e Apoios e escrevem automaticamente essa relação em parâmetros dedicados das famílias.

4.1. Identificação e listagem de apoios associados a cada Vão

Com o objetivo de verificar se a interligação entre Vãos e Apoios podia ser representada explicitamente em ambiente BIM, foi desenvolvido um automatismo em *Dynamo* destinado a identificar os Apoios associados a cada Vão colocado no modelo. Este ensaio constituiu um passo prévio aos testes de segmentação da laje, permitindo confirmar a viabilidade da abordagem adotada para relacionar os diferentes elementos do sistema.

A rotina analisa a posição relativa entre Vãos e Apoios num modelo de projeto e estabelece automaticamente a correspondência entre estes elementos. O resultado é registado num parâmetro dedicado da família do Vão, designado “List of Supports” (Figura 4), associando, ao nível de cada instância BIM, os respetivos Apoios. Assim o Vão tem um parâmetro que identifica exatamente o ID do apoio que está a suportá-lo. Este ensaio permitiu confirmar que a estrutura de parâmetros definida nas famílias suporta a representação explícita da interligação entre Vãos e Apoios, conforme previsto na estratégia de modelação adotada.

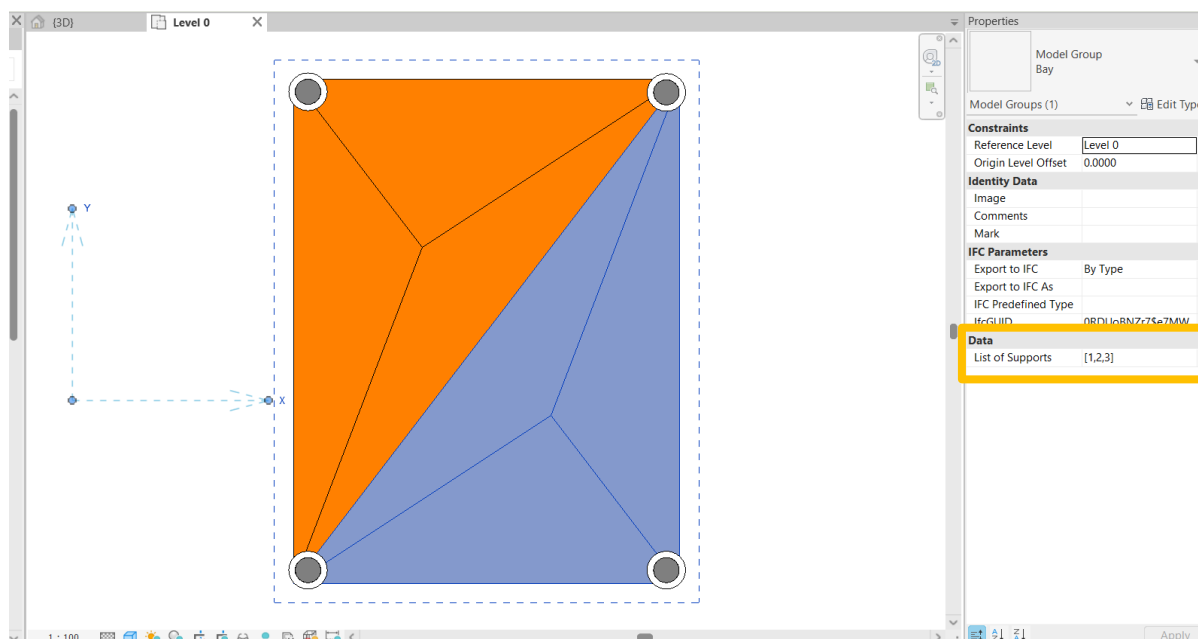


Figura 4: Lista de Apoios do Vão

4.2. Ensaios de segmentação da laje em Vãos

Após a validação da interligação entre Vãos e Apoios, procedeu-se a ensaios de segmentação da laje em ambiente BIM, com o objetivo de testar o comportamento modular dos Vãos enquanto unidades funcionais do sistema. Para esse efeito, utilizou-se uma laje retangular como geometria de referência, a partir da qual a rotina permitiu subdividir a laje em segmentos e gerar múltiplos Vãos. De forma simplificada, o automatismo interpreta a geometria-base da laje, aplica regras de subdivisão previamente definidas e instancia os Vãos correspondentes, mantendo a coerência geométrica e informacional entre os elementos gerados. Este ensaio permitiu demonstrar o comportamento modular e paramétrico dos elementos UTS quando utilizados em conjunto no ambiente *Autodesk Revit*.

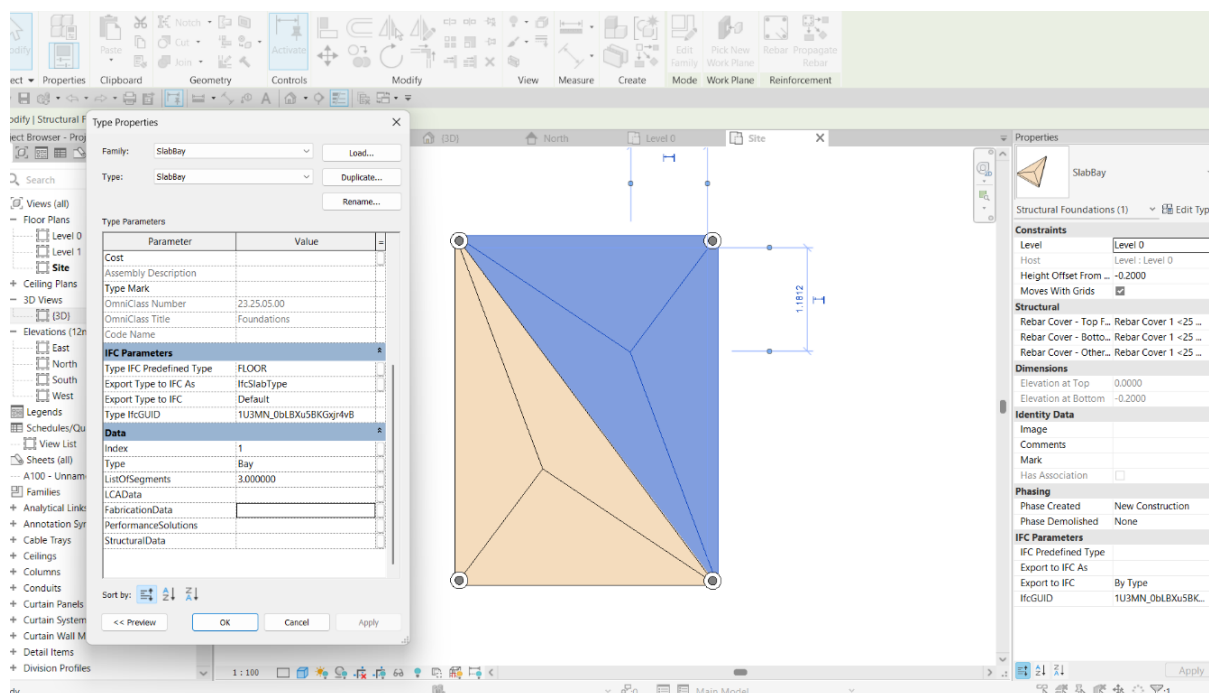


Figura 5: Propriedades do Vão

4.3. Resultado dos ensaios de interligação

Os ensaios realizados com recurso ao *Dynamo* permitiram verificar, em ambiente BIM, a viabilidade da interligação entre Vãos e Apoios e a geração de unidades funcionais a partir de uma lógica de segmentação. Este ensaio permite confirmar que a estrutura de modelação adotada suporta a representação explícita das relações entre os diferentes elementos do sistema. Assim, o modelo resultante constitui um protótipo funcional que demonstra a coerência da abordagem baseada na distinção entre Vãos e Apoios e a adequada organização de parâmetros definida nas famílias, validando a estratégia de modelação adotada para esta fase do trabalho e a aplicabilidade do modelo BIM como suporte à representação e ensaio das relações fundamentais do sistema UTS. Na Figura 6 pode ser observado o resultado do sistema UTS em ambiente *Autodesk Revit*.

5. Materialidade e representação visual

A materialidade dos elementos BIM do sistema UTS foi definida de forma deliberadamente simplificada (em coerência com o nível de abstração adotado), com o objetivo de assegurar uma representação visual clara e consistente sem induzir em interpretações relativas ao comportamento estrutural, à orientação das lamelas ou a detalhes de fabrico do sistema. Apenas o Vão, enquanto unidade geométrica fundamental da laje segmentada, recebeu uma materialidade genérica em madeira para facilitar a identificação visual em ambientes de projeto, mantendo-se os Apoios com uma representação neutra. A textura aplicada é não-direcional e foi definida de forma compatível com a exportação *Industry Foundation Classes* (IFC), permitindo preservar a aparência e a identificação dos elementos em fluxos openBIM e funcionando como mecanismo adicional de validação da coerência da modelação.

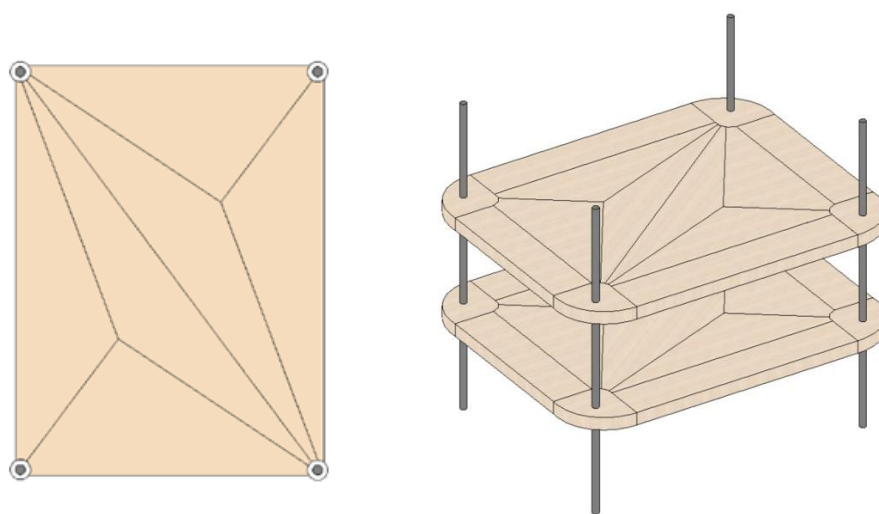


Figura 6: Resultado do Sistema UTS no *Autodesk Revit*

6. Exportação IFC e validação da interoperabilidade

A modelação do sistema UTS foi desenvolvida considerando, desde o início, a necessidade de interoperabilidade e de compatibilidade com princípios openBIM, tendo a exportação para formato IFC sido utilizada como mecanismo de verificação da coerência da estrutura de modelação adotada. A separação clara entre entidades, a organização consistente dos parâmetros e a definição cuidada das famílias permitiram uma exportação IFC legível, preservando a identificação única dos elementos, bem como a tradução da geometria e das relações entre Vãos e Apoios fora do ambiente de autoria.

Este processo confirmou a capacidade do modelo BIM para manter a informação associada aos elementos em contextos externos, funcionando como validação da interoperabilidade e da adequação das opções tomadas ao nível da estruturação da informação. Adicionalmente, sendo o formato IFC o meio para a comunicação com o IDSS, esta validação assume um papel determinante, assegurando que a geometria, os parâmetros e as relações entre Vãos e Apoios

podem ser corretamente interpretados e processados, suportando futuras análises automatizadas.

Ainda assim, importa referir que esta validação teve, nesta fase, um carácter preliminar, incidindo sobretudo na verificação da legibilidade do modelo exportado, na preservação da identificação dos elementos e na manutenção das relações essenciais entre Vãos e Apoios. Não foi ainda realizada uma validação cruzada e sistemática da informação exportada em diferentes plataformas BIM ou ferramentas de análise, nem aprofundada a eventual existência de limitações associadas à tradução de determinados parâmetros, relações semânticas ou comportamentos específicos fora do ambiente nativo de desenvolvimento. Neste sentido, a interoperabilidade do modelo deverá ser aprofundada em trabalhos futuros, nomeadamente através de testes em diferentes plataformas e da avaliação da robustez da informação exportada em cenários de utilização mais alargados.

7. *Product Data Template*

Os PDTs constituem um elemento central da normalização da informação no contexto do BIM, permitindo estruturar e uniformizar a definição da informação não gráfica associada aos produtos de construção. No sistema UTS, o PDT foi desenvolvido para definir e organizar os parâmetros dos seus principais componentes, Vão e Apoio, criando uma base estruturada para a integração consistente do sistema em fluxos digitais de projeto e assegurando coerência semântica e interoperabilidade [2].

O desenvolvimento do PDT seguiu a metodologia [3] alinhada com as normas EN ISO 23386 e EN ISO 23387, tendo sido definidos PDTs distintos para cada objeto, de forma a refletir o seu papel específico no sistema e evitar ambiguidades na informação. Os PDTs encontram-se disponibilizados publicamente na plataforma pdts.pt, reforçando o seu carácter reutilizável e o papel do PDT como elemento estruturante da abordagem adotada.

8. Conclusão

A digitalização BIM de sistemas construtivos complexos exige uma definição clara de um nível de abstração adequado, privilegiando a identificação dos elementos, relações e dados essenciais em detrimento da reprodução exaustiva da complexidade física do produto.

A utilização do sistema *Universal Timber Slab* (UTS) permitiu testar uma abordagem baseada na decomposição do sistema em unidades funcionais e relacionais, concretizada na distinção entre Vão e Apoio. Esta estratégia, associada à modelação paramétrica das famílias, aos ensaios de interligação com recurso a *Dynamo* e à definição de um *Product Data Template* alinhado com normas internacionais, possibilitou a criação de um modelo coerente, legível e preparado para interoperabilidade.

Embora aplicada a um caso de estudo específico, a metodologia apresentada é transferível para a digitalização BIM de outros sistemas construtivos complexos que partilhem características semelhantes, como elevada variabilidade geométrica, dependência de condições locais e forte articulação entre componentes. A definição de unidades funcionais, a estruturação semântica da informação e a validação das relações através de automatismos constituem uma abordagem que pode ser adaptados a diferentes contextos.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do programa Horizonte Europa e da European Innovation Council and SMEs Executive Agency (EISMEA), no âmbito do projeto EIC Pathfinder UniversalTimberSlab (Grant Agreement n.º 101161103). Este trabalho contou ainda com o cofinanciamento do PRR – Plano de Recuperação e Resiliência e da União Europeia, no âmbito do investimento RE-C05-i02: Missão Interface – CoLAB. Este trabalho é também financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do Programa MIT-Portugal, ao abrigo do Grant Agreement MPP2030-FCT-2022. Beneficiou igualmente do apoio da FCT/MCTES através da Unidade de I&D Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), ao abrigo das referências UID/04029/2025, UID/PRR/04029/2025 e UID/PRR2/04029/2025, bem como do Laboratório Associado Advanced Production and Intelligent Systems (ARISE), ao abrigo da referência LA/P/0112/2020.

Referências

- [1] R. Matos, F. Rodrigues, H. Rodrigues, A. Alves e P. Ribeirinho, “Building life cycle management na reabilitação de edifícios,” 2016.
- [2] CT197, SECClasS e REV@Construction, “Universidade do Minho,” 2021. [Online]. Available: <https://pdts.pt/>.
- [3] M. E. Sibaii, J. Granja, R. R. Ribeiro, P. Meda, R. Resende, J. d. Santos, P. L. Martins, A. A. Costa, J. P. Martins e M. Azenha, “Rumo à definição de ‘Product Data Templates’ nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197,” 2022.