# AS INTERFERÊNCIAS OCASIONADAS PELAS TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO DIGITAL NO PROCESSO PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES DE CLT

**OLIVEIRA, Gabriela Lotufo (1); BRAGA, Vanessa de Faria (2); OLIVEIRA, Fabiana Lopes de (3)**

(1) Doutoranda do Curso de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, gabriela.lotuffo.oliveira@usp.br;

(2) Graduanda do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, vanessa.braga@usp.br

(3) Docente do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, floliveira@usp.br

**Resumo:** *Nas últimas décadas, observa-se a introdução de novas tecnologias digitais de fabricação no campo da industrialização, de modo a oferecer soluções mais versáteis e flexíveis, tendo em vista que a construção industrializada, historicamente, relaciona-se à produção seriada e à padronização. As tecnologias com comando numérico computadorizado (CNC) permitem a conversão de projetos concebidos e desenvolvidos digitalmente em objetos reais. Na construção civil, um exemplo de tecnologia que utiliza a fabricação digital em seu processo de construção consiste nos painéis de* Cross Laminated Timber *(CLT). No entanto, a adoção de tecnologias digitais, ao otimizar o processo de fabricação do elemento construtivo, influenciará diretamente na concepção do projeto e na montagem dos painéis, etapas estas que devem ser planejadas para maximizar os benefícios apresentados pela tecnologia. Assim, o presente artigo tem como objetivo compreender as interferências ocasionadas pela introdução de técnicas de fabricação digital, durante a confecção dos painéis, no projeto arquitetônico de edificações de CLT. Ao final, são formuladas recomendações a serem incorporadas por arquitetos e projetistas, de modo a orientar e auxiliar a concepção projetual destes edifícios. Os resultados obtidos com este trabalho, consequentemente, possibilitam, também, a maior difusão das informações acerca do emprego da tecnologia em estudo.*

**Palavras-chave:** *Cross Laminated Timber (CLT), fabricação digital, sistema construtivo industrializado*.

**Área do Conhecimento:** *Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos - Processo de Produção*

## 1 INTRODUÇÃO

A construção industrializada, historicamente, relaciona-se à produção seriada e à padronização. É, assim, comumente vinculada a questões de rigidez e uniformidade. Entretanto, nas últimas décadas, observa-se a introdução de novas tecnologias digitais de fabricação no campo da industrialização, de modo a oferecer soluções mais versáteis e flexíveis (FONSECA DE CAMPOS; LOPES, 2017). As tecnologias com comando numérico computadorizado (CNC) permitem a conversão de projetos concebidos e desenvolvidos digitalmente em objetos reais. A adoção de tais práticas é observada há alguns anos em setores como o aeroespacial e automotivo. No setor manufatureiro, robôs e máquinas com comando numérico computadorizado começam a ser introduzidos já em meados da década de 1960. No entanto, no setor da construção civil, este cenário é ainda recente, sendo a fabricação digital mais aplicada à criação de componentes estruturais e de fachadas (BUSWELL *et al*, 2007).

Na construção civil, tem-se como exemplo de tecnologia que utiliza a fabricação digital em seu processo construtivo painéis de *Cross Laminated Timber* (CLT). Esta tecnologia inovadora ainda é muito recente, sendo que há conhecimento de apenas um fabricante, que iniciou sua produção em 2012 no Estado de São Paulo. Consiste em painéis de madeira maciços e autoportantes, que podem ser utilizados como lajes (pisos ou coberturas), vedações, paredes estruturais, dentre outros elementos construtivos. Mais informações a respeito desse elemento construtivo e sobre seu processo de fabricação e construção são abordadas por BRANDNER (2013), OLIVEIRA e OLIVEIRA (2017) e OLIVEIRA (2018).

A adoção de tecnologias digitais, contudo, ao otimizar o processo de fabricação do elemento construtivo em questão, irá influenciar diretamente na concepção do projeto arquitetônico, que deve ser pensado de modo a maximizar os benefícios apresentados pela tecnologia. Dessa forma, o presente artigo pretende compreender e discutir as interferências ocasionadas pela introdução de técnicas de fabricação digital no processo projetual de edificações que empreguem painéis de CLT.

## 2 OBJETIVOS

O presente artigo tem como objetivo compreender as interferências ocasionadas pela introdução de técnicas de fabricação digital, durante a confecção de painéis de CLT, no projeto arquitetônico de edifícios que empreguem a tecnologia em questão. Ao final, busca-se formular recomendações a serem incorporadas por arquitetos e projetistas, de modo a orientar e auxiliar na concepção projetual de edificações em CLT. Os resultados obtidos com este trabalho, consequentemente, possibilitam, também, a maior difusão das informações acerca do emprego da tecnologia estudada.

## 3 METODOLOGIA

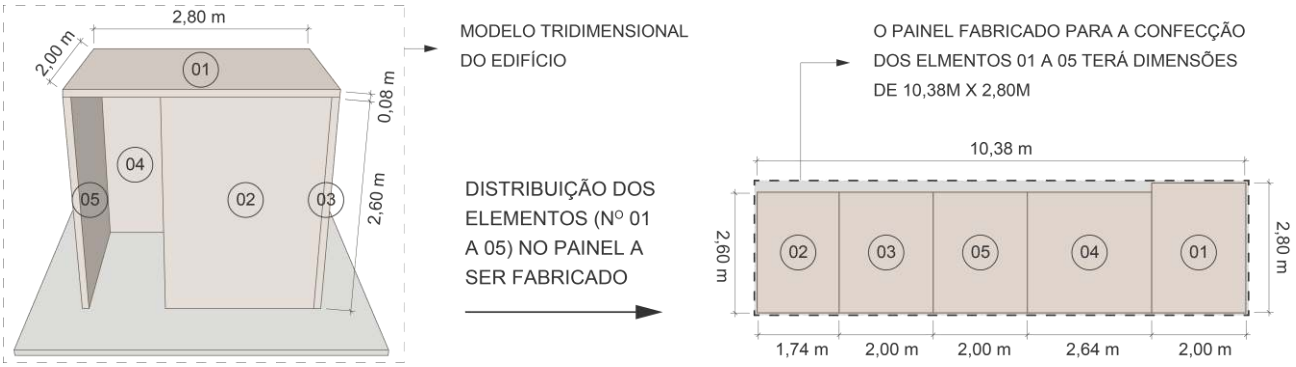
A metodologia adotada para a elaboração do presente artigo embasou-se em revisão bibliográfica sobre os temas *Fabricação Digital* e *Cross Laminated Timber*, assim como visita ao fabricante nacional do elemento construtivo, acompanhamento da confecção dos painéis e da montagem de edificações de CLT.

## 4 O PROCESSO CONSTRUTIVO EM CLT

O processo construtivo brasileiro em CLT pode ser dividido em três partes: matéria-prima, fabricação dos painéis e montagem do edifício. Cada uma possui suas próprias etapas internas. A matéria-prima, após extração, pode ou não receber tratamento preservativo de modo a prevenir o ataque de organismos deterioradores, como fungos ou insetos. A fabricação, por sua vez, inicia-se com triagem visual das lamelas, passando pela emenda destas, pela montagem e prensagem do painel e pelo corte e usinagem do painel prensado. A montagem do edifício inclui a logística, ou seja, o transporte dos elementos construtivos até o local da obra, assim como a movimentação e conexão das peças, a execução das instalações prediais e dos acabamentos finais (OLIVEIRA, 2018).

Dentre as etapas mencionadas, vale discorrer com maiores detalhes sobre a fabricação e, em especial, sobre o corte e a usinagem dos painéis. Este processo inicia-se com o recebimento do projeto arquitetônico. Em seguida, é elaborado, em fábrica, o projeto dos painéis, o qual consiste na modelagem dos elementos construtivos de CLT, por meio do *software* de desenho AutoCAD 3D. Neste projeto, os elementos em questão são ajustados em conformidade com as dimensões do projeto arquitetônico da edificação e considerando-se as dimensões máximas de fabricação. Após a modelagem de todos os elementos a serem utilizados na edificação, esses são numerados e distribuídos nos painéis para que sejam fabricados, buscando-se maior economia e menor desperdício de material. Dessa forma, como ilustrado no esquema abaixo (Figura 1), de um único painel, é possível obter diversos elementos menores que irão configurar o edifício, como paredes, lajes, vigas, dentre outros (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2017).

**Figura 1 – Esquema ilustrando o processo construtivo de edifícios em CLT**

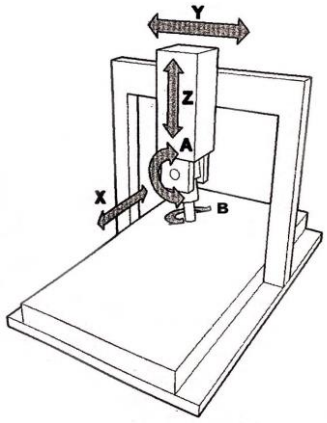



Fonte: OLIVEIRA E OLIVEIRA (2017)

A prensagem dos painéis é realizada em prensas com dimensões de 12m de comprimento por 3m de largura, na fabricação nacional, possibilitando, assim, a confecção de painéis com até 12m x 3m. Para elementos com tamanhos que ultrapassam as dimensões máximas de fabricação, como lajes com mais de 12m, por exemplo, são projetados painéis distintos que serão conectados durante a montagem da edificação para configurar o elemento maior.

O corte e a usinagem dos painéis são realizados em um equipamento de usinagem com CNC, por meio de fabricação subtrativa, que envolve a remoção de materiais sólidos por processos mecânicos, elétricos ou químicos. A fresadora pode ser axial, superficial ou volumétrica. Na primeira delas, a cabeça de corte do equipamento possui dois eixos de translação enquanto o material a ser fresado é fixado em um eixo de rotação. Nas fresadoras superficiais, por sua vez, a cabeça de corte se movimenta apenas nos eixos X e Y. Já as fresadoras volumétricas consistem em uma extensão das superficiais. Nesse último processo, além dos eixos X e Y, a fresa movimenta-se também no eixo Z, possibilitando a remoção volumétrica de material. No entanto, para a elaboração de formas mais complexas, é possível, ainda, utilizar fresadoras com quatro ou cinco eixos. Nas fresadoras com quatro eixos, é adicionado um eixo de rotação (A) na cabeça de corte ou na mesa de corte. Nas fresadoras de cinco eixos acrescenta-se, além do eixo A, o eixo de rotação B, que consiste na rotação em torno do eixo Z (Figura 2) (KOLAREVIC, 2003).

**Figura 2 – Esquema de funcionamento de um equipamento de usinagem com cinco eixos**




Fonte: adaptado de KOLAREVIC (2003)

Nas fresadoras com comando numérico computadorizado (CNC), ou fresadoras CNC, um sistema computacional atua no controle dos movimentos do equipamento. Para isso, a geometria da peça a ser fresada é exportada para um *software* de pós-processamento, o qual irá gerar as instruções que serão transmitidas à fresadora, de modo a controlar seus movimentos, sua velocidade, as ferramentas utilizadas, dentre outros parâmetros (KOLAREVIC, 2003).

Para o corte e a usinagem dos painéis na fábrica nacional de CLT, realizados em uma fresadora de cinco eixos, utiliza-se o modelo tridimensional realizado previamente no *software* de modelagem durante a etapa de projeto dos painéis. O modelo tridimensional de cada elemento que irá configurar a edificação é exportado, individualmente, para o *software* do equipamento de usinagem, onde também são programados os movimentos que deverão ser executados para cortar e usinar o painel. O painel é transformado, assim, nos elementos construtivos necessários para a montagem do edifício, incluindo as devidas aberturas de portas e janelas, canaletas de passagem de eletrodutos e outras necessárias para instalações prediais.

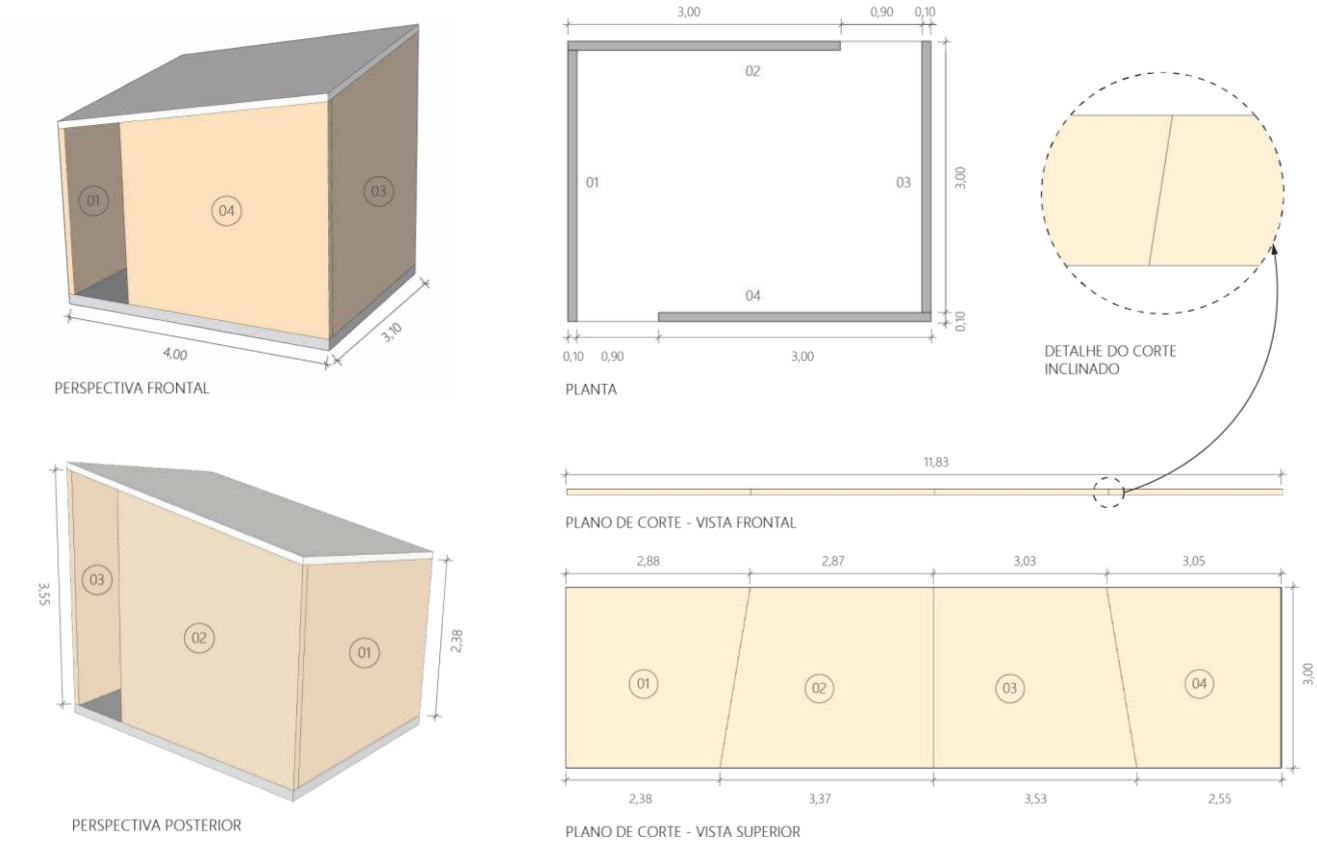
## 5 DISCUSSÃO: AS CONSEQUÊNCIAS DA FABRICAÇÃO DIGITAL NO PROCESSO PROJETUAL DE EDIFICAÇÕES EM CLT

Considerando a possibilidade de conexão dos elementos em obra, pode-se afirmar que é possível a execução de elementos em CLT em qualquer dimensão e formato. Contudo, atentar-se para os tamanhos máximos obtidos na linha de produção pode auxiliar o processo de fabricação dos painéis. A alteração das dimensões de uma parede, com altura de 3,10 m e comprimento de 7,00 m, para altura de 3,00 m e comprimento de 7,00 m, por exemplo, pode não acarretar grandes modificações no projeto arquitetônico, mas, em contrapartida, permitirá produzir o elemento em questão com apenas um painel, otimizando a fabricação e a montagem. Não é necessário, no entanto, restringir o projeto a dimensões modulares ou padronizadas, dado que o emprego do equipamento de usinagem com CNC permite alto grau de

personalização, sem que se perca com isso a maximização da produção.

Quando se busca máxima otimização da fabricação, torna-se interessante, ainda, conceber a edificação considerando o corte dos painéis. Isso não pressupõe a modulação das peças, mas sim o aproveitamento dos cortes. A título de exemplo, pode-se citar a concepção de elementos com uma das dimensões sempre igual, como vedações com a mesma altura de 2,70 m, por exemplo, ainda que possuam larguras diferentes. Ou ainda é possível mencionar a adoção de elementos com uma das arestas inclinadas, mas que possuam mesmo ângulo de inclinação de outros elementos da edificação, como ilustrado pelo modelo esquemático a seguir (Figuras 3). Vale ressaltar que esses são apenas alguns exemplos bastante simplificados, sendo que o máximo aproveitamento da fabricação também pode ser alcançado em muitas outras ocasiões.

**Figura 3 – Projeto esquemático de edificação fictícia ilustrando o aproveitamento do Plano de Corte (medidas em metros)**




Fonte: das autoras

A adoção do equipamento de usinagem no processo de fabricação dos elementos construtivos em CLT, além de permitir grande personalização das peças, traz uma nova visão de como se conceber e produzir arquitetura. Por meio das tecnologias digitais e dos *softwares* de modelagem tridimensional, altera-se a maneira de se projetar o edifício, uma vez que as informações utilizadas na construção são retiradas fácil e rapidamente do modelo tridimensional. O modelo tridimensional passa a incorporar tanto a representação do projeto, que deixa de se restringir a desenhos bidimensionais, como cortes, plantas e elevações, quanto as informações necessárias à produção dos elementos construtivos.

Essa conexão direta entre projeto e construção é definida por KOLAREVIC (2003) como *digital continuum*. A produção maciça de desenhos, que realizam a comunicação entre arquitetura e construção, tende a declinar com a introdução dos modelos gerados digitalmente, redefinindo a relação entre concepção e produção e propiciando um *continuum* entre projeto e construção. Desse modo, o modelo digital passa a se tornar a única fonte de informação, tanto para o projeto quanto para a construção.

Nesse sentido, durante a etapa de projeto, dispensa-se a necessidade de inúmeros desenhos bidimensionais para fabricação do edifício. Para este processo, o modelo tridimensional executado na etapa de projeto dos painéis é utilizado de forma direta, sendo que os modelos das peças são transferidos ao

*software* de usinagem, que reconhece as informações contidas no arquivo digital e executa os recortes e as usinagens modeladas. Consequentemente, a precisão no tamanho dos painéis, além da execução prévia de usinagens para passagens de instalações prediais, possibilita uma montagem fácil e intuitiva.

Percebe-se, portanto, a transferência de dados direta do modelo tridimensional dos elementos construtivos, para a confecção das peças, sem a necessidade de se transformar as informações contidas no projeto em desenhos bidimensionais convencionais. Essa transferência direta de dados também pode ser realizada entre o projeto arquitetônico e o projeto dos painéis, no caso de projetos arquitetônicos concebidos e desenvolvidos em *softwares* tridimensionais. Neste caso, seria possível, inclusive, a supressão de uma das etapas de projeto, pois o modelo tridimensional dos painéis poderia ser extraído diretamente do modelo do edifício, sem necessidade de se realizar um novo projeto para os painéis.

## 6 CONCLUSÃO

O presente artigo buscou compreender as interferências da adoção de tecnologias de fabricação digital no processo projetual de edificações que empreguem painéis de CLT.

Tradicionalmente, após a concepção do projeto arquitetônico, confeccionam-se desenhos bidimensionais que são enviados aos fabricantes dos componentes construtivos e à equipe responsável pela construção. Tratando-se de uma edificação em CLT, no entanto, por meio da introdução da fresadora CNC, dispensa-se a elaboração de inúmeros desenhos bidimensionais para fabricação dos elementos construtivos. Como observado, o modelo tridimensional elaborado para a confecção dos painéis é enviado diretamente ao equipamento de usinagem.

Nesse sentido, recomenda-se o desenvolvimento do projeto arquitetônico, preferencialmente, em *softwares* de modelagem tridimensional, possibilitando uma maior continuidade entre os processos de projeto arquitetônico e de fabricação dos elementos construtivos. Além disso, indica-se, ainda, a idealização do projeto em virtude da adoção de elementos construtivos em forma de painéis, otimizando a quantidade de painéis empregados e considerando o tamanho máximo de 12,00 m x 3,00 m para fabricação desses. Por fim, nessa ideia, recomenda-se a concepção do projeto buscando-se maior otimização dos cortes dos painéis, visando, assim, máximo aproveitamento do processo construtivo.

Percebe-se, portanto, que o elemento construtivo inovador CLT, assim como outros que adotam tecnologias digitais para sua fabricação, representa uma modificação drástica no setor da construção civil, tanto em termos de projeto arquitetônico, quanto em termos de construção, por proporcionar uma obra rápida, fácil e sem geração de resíduos. Apresenta-se, assim, como uma alternativa extremamente promissora ao cenário da construção civil brasileira, possibilitando, dentre outros aspectos, maior produtividade no projeto, na fabricação e na montagem das edificações.

## 7 REFERÊNCIAS

BRANDNER, Reinhard. Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report. 2013. Disponível em: <http://costfp1004.holz.wzw.tum.de/fileadmin/tu/wz/costfp1004/Theme_I_Product_and_ Testing.pdf>. Acesso em: abril de 2017.

BUSWELL, R. A.; *et al*. Freeform construction: mega-scale rapid manufacturing for construction. Automation in Construction 16, p. 224-231, 2007.

FONSECA DE CAMPOS, Paulo Eduardo; LOPES, Eduardo Ignacio. A fabricação digital aplicada à construção industrializada: estado da arte e perspectivas de desenvolvimento. Concreto & Contrução, v. 85, p. 22-29, 2017.

KOLAREVIC, Branko. Architecture in digital age: Design and manufacturing. New York: Spon Press, 2003.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo. *Cross Laminated Timber* (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho – Recomendações para o processo de projeto arquitetônico. Dissertação (Mestrado). São Paulo: FAUUSP, 2018.

OLIVEIRA, Gabriela Lotufo; OLIVEIRA, Fabiana Lopes de. As interferências do processo produtivo na concepção de projeto de edifícios em CLT – *Cross Laminated Timber* – TECSIC, 2017.