

Universidade Brasil
Curso de Engenharia Civil, Campus Descalvado

HADRIÊ MARCATTO

SIDNEI CARLOS DE ARAÚJO

MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA - MLCC
CROSS LAMINATED TIMBER - CLT

DESCALVADO
2017

Hadriê Marcatto
Sidnei Carlos de Araújo

MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA - MLCC

Orientadora: Prof^a. Dra. Eng^a. Gisele Cristina Antunes Martins

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade
Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Descalvado, SP
2017

Autorizamos, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial deste TCC, por processos xerográficos ou eletrônicos.

M262m Marcatto, Hadriê
Madeira laminada colada cruzada – MLCC / Hadriê
Marcatto, Sidnei Carlos de Araújo. – Descalvado: [s.n.],
2017.

58f. : il.; 29,5cm.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Brasil, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dra. Gisele Cristina Antunes Martins

1. Capacidade de carga. 2. Estruturas de madeira.
3. Fogo. 4. Sistema construtivo. 5. Sustentável. I. Araújo,
Sidnei Carlos de. II. Título.

CDD 624.184

**HADRIÊ MARCATTO
SIDNEI CARLOS DE ARAÚJO**

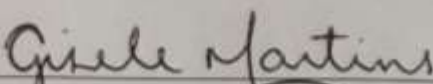
MADEIRA LAMINADA COLADA CRUZADA - MLCC

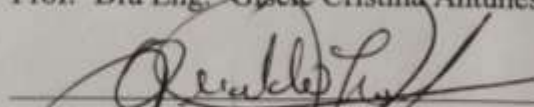
Trabalho de Conclusão apresentado como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, à Universidade Brasil, desenvolvido sob a orientação da Prof.^a Dra Eng.^a Gisele Cristina Antunes Martins.

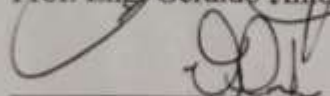
Aprovado em 27 de outubro de 2017.

Com Nota 9,6

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a Dra Eng.^a Gisele Cristina Antunes Martins


Prof. Eng. Geraldo Antônio Traldi Júnior


Prof.^a Dra Valéria Peruca de Melo

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em nossa vida, autor de nosso destino, nosso guia, socorro presente na hora da angústia, aos nossos pais José Aparecido Marcatto e Maria do Carmo Ângelo Marcatto, e Sebastião Carlos de Araújo (*in memoriam*) e Elza Maria Assoni de Araújo, e as nossas irmãs.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos, em especial a nossa professora orientadora Dra. Eng^a. Gisele Cristina Antunes Martins, pela valiosa contribuição na elaboração deste trabalho, sem a qual não teríamos logrado êxito.

Agradecemos também aos demais professores por todo conhecimento e valores éticos a nós transmitidos. E, por fim, agradecer a todos os funcionários da Universidade Brasil pelo apoio durante o período da graduação, que tornou nossa jornada menos árdua.

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”
(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

O sistema construtivo de Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC) é um método que foi desenvolvido na Europa no início da década de 1990, com especial ênfase na Áustria, cuja técnica consiste em montar painéis com lamelas de madeiras coladas em camadas no sentido cruzado. Os painéis normalmente possuem de 3 a 7 camadas, cujo arranjo confere grande capacidade de carga. As vantagens são inúmeras quando comparadas a sistemas construtivos convencionais, a destacar o fato de ser baseado no uso de madeira de reflorestamento, que através do manejo sustentável, causa menor impacto ao meio ambiente, uma vez que as florestas absorvem gás carbônico da atmosfera, podendo ser considerado um processo limpo. Por ser um método construtivo industrial, todo processo ocorre em ambiente fechado, gerando menor quantidade de resíduos e desperdício de materiais, quando comparado a outros sistemas, cuja taxa de desperdício é alta. Constata-se, assim, que seria altamente vantajoso sua utilização no Brasil visto a capacidade de produção de madeira de reflorestamento aqui instalada, e sua possível ampliação. Os estudos realizados comprovam sua segurança construtiva, bem como sua resistência inequívoca ao fogo. Contudo, fica claro que o material necessita de estudos e testes realizados no país, estabelecendo, assim, normas e padrões adequados a nossa realidade. Por fim, faz-se necessário o trabalho de convencimento quanto às vantagens desse novo sistema desde o profissional que irá projetar e realizar a obra, passando por empresas dispostas a investir no desenvolvimento da tecnologia, bem como no âmbito governamental e regulatório aprovando, após os devidos estudos, a aceitação da tecnologia, criando condições para financiamentos habitacionais, até chegar à ponta da cadeia, ou seja, conquistar o cliente.

Palavras-chaves: Capacidade de carga, estruturas de madeira, fogo, sistema construtivo, sustentável.

ABSTRACT

The Cross Laminated Timber (CLT) construction system is a method that was developed in Europe in the early 1990s, with special emphasis on Austria, whose technique is to assemble panels with lamellae of wood glued in layers crosswise. The panels usually have 3 to 7 layers, such arrangement gives great load capacity. The advantages are innumerable when compared to conventional construction systems, to highlight the fact that it is based on the use of reforestation wood that through sustainable management, causes less impact to the environment, since the forests absorb carbon dioxide from the atmosphere, being able to be considered a clean process. Because it is an industrial construction method, all processes take place in a closed environment, generating less waste and wastage of materials when compared to other systems, whose waste rate is high. Thus, it would be highly advantageous to use them in Brazil, since the production capacity of reforestation wood installed here, and its possible expansion. The studies carried out prove their constructive safety, as well as their unequivocal resistance to fire. However, it is clear that the material needs studies and tests carried out in the country, thus establishing norms and standards adequate to our reality. And finally, it is necessary to work convincingly on the advantages of this new system from the professional who will design and carry out the work, going through companies willing to invest in the development of technology, as well as in the governmental and regulatory framework approving after due studies the acceptance of technology, creating conditions for housing financing, until reaching the end of the chain, that is, conquer the client.

Keywords: Construction system, fire, load capacity, sustainable, timber.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição das lamelas de madeira.	15
Figura 2 - Edifício construído em MLCC.	16
Figura 3 - Tipos de ligação com <i>finger joint</i>	17
Figura 4 - Modelo de entalhe em <i>finger joint</i>	17
Figura 5 - Orientação externa das lamelas de MLCC para paredes.	18
Figura 6 - Orientação externa das lamelas de MLCC para pavimentos e telhados.	19
Figura 7 - Painel de MLCC.	19
Figura 8 - Processo de colagem das lamelas dos painéis de MLCC.	20
Figura 9 - Processo de prensagem dos painéis de MLCC.	20
Figura 10 - Casa em construção com MLCC.	22
Figura 11 - Projeto estrutural de prédio em MLCC com 12 andares.	23
Figura 12 - Projeto de prédio em MLCC com 12 andares.	24
Figura 13 - Edifício MLCC de sete andares testado no E-Defense Laboratory em Miki, Japão.	26
Figura 14 - Película de carbono.	27
Figura 15 - Tenda de proteção.	30
Figura 16 - Estrutura de parede externa.	31
Figura 17 - Parede com corpos vazios.	33
Figura 18 - Parede com face de gesso.	34
Figura 19 - Junta de teto.	36
Figura 20 - Conexão base.	36
Figura 21 - Parede externa hermética.	37
Figura 22 - Conexão base.	38
Figura 23 - Vedação das juntas transversais do teto.	39
Figura 24 - Conexão de parede para a viga do telhado.	40
Figura 25 - Projeto de telhado inclinado.	41
Figura 26 - Formação de peitoril.	42
Figura 27 - Projeto de corrimão para o telhado.	43
Figura 28 - Projeto de construção de beiral.	44
Figura 29 - Painel de telhado em balanço.	45
Figura 30 - Estanqueidade da construção.	46

Figura 31 – Montagem de claraboias.	47
Figura 32 - Placas de varanda.....	48
Figura 33 - Parede externa com câmara de ar.	49
Figura 34 - Parede externa com gesso na fachada.....	50
Figura 35 - Encaixes e aberturas para instalações.	51
Figura 36 - Áreas molhadas.....	52
Figura 37 - Ranhuras em beiral.	53
Figura 38 - Ranhuras e furos.	54

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Objetivo	13
1.2 Justificativa.....	14
CAPÍTULO 2 – ESTUDO DA ARTE	15
2.1 Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC)	15
2.2 Processo de Fabricação.....	16
2.3 Vantagens no Uso da MLCC.....	21
2.4 Desvantagens no Uso do MLCC	23
2.5 Desempenho da MLCC	24
2.5.1 Isolamento Acústico	24
2.5.2 Isolamento Térmico	25
2.5.3 Desempenho Sísmico	25
2.5.4 Resistência ao Fogo	26
2.5.5 Longevidade	28
CAPÍTULO 3 – PROCESSO CONSTRUTIVO	30
3.1 Paredes.....	31
3.1.1 Estruturas de Paredes Externas.....	31
3.1.1.1 Com revestimento de madeira e isolamento macio	31
3.1.1.2 Com corpos vazios para preenchimento com isolante de celulose.....	32
3.1.1.3 Com face de gesso sobre camada de suporte.....	34
3.2 Estanqueidade: Camada de Vedação por Meio de Barreira de Convecção.....	35
3.2.1 Junta de teto	35
3.2.2 Conexão base	36
3.3 Projeto Hermético da Construção – Estanqueidade ao Ar	37
3.3.1 Paredes externas herméticas sem filmes adicionais - junta de teto	37
3.3.2 Conexão base.....	38
3.3.3 Vedação das juntas transversais do teto	39
3.4 Conexão de Parede para a Viga do Telhado.....	39
3.5 Projeto de Construção de Telhado Inclinado.....	40
3.6 Formação de Peitoril em Telhado Plano	41
3.7 Projeto de Corrimão para Andar no Telhado (Projeto Fechado).....	43

3.8 Projeto de Construção de Beiral para Telhados Planos.....	44
3.9 Painéis de Telhado em Balanço - Impermeabilização da Construção.....	45
3.10 Montagem de Claraboia de Telhado – Sistema para Evacuação de Fumaça	47
3.11 Placas de Varanda em Balanço – Vedação da Construção.....	47
3.12 Ponto de Contato da Janela.....	48
3.12.1 Parede externa com câmara de ar	48
3.12.2 Parede externa com gesso na fachada.....	49
3.13 Instalações – Áreas Molhadas	50
3.13.1 Encaixes e aberturas para instalações	50
3.13.2 Áreas molhadas	51
3.14 Instalação Elétrica.....	53
3.14.1 Ranhuras em painéis de telhado com beiral de madeira exposta	53
3.14.2 Ranhuras e furos nas superfícies de madeira visíveis e não visíveis.....	54
CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO.....	55
REFERÊNCIAS	56

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC) ou Cross Laminated Timber (CLT) é um produto estrutural industrializado, desenvolvido na Áustria e na Alemanha durante a década de 1990 como um produto que poderia aproveitar a madeira residual que estava sendo descartada por madeireiras. Em meados da década de 1990, iniciou-se um esforço comum de investigação entre a indústria e a universidade na Áustria para assim desenvolver um novo produto, o MLCC, que atualmente é produzido em toda a Europa e América do Norte (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

A procura e a aceitação por este produto demorou alguns anos para se tornar significativa, devido à falta de conhecimento do desempenho e da capacidade da MLCC como um material de construção. Mas, aliado ao movimento de construção sustentável e menos agressivo ao ambiente, a MLCC logo ganharia popularidade como uma escolha viável para construções residenciais e não residenciais na Europa.

A MLCC é um material de construção ecológico, pois o uso de madeira em grandes edifícios traz enormes benefícios, incluindo sequestro de carbono, redução de emissões de gases (desde a colheita até a construção) e melhor custo-benefício quando comparado ao concreto e ao aço (GREEN e KARSH, 2012). Desta forma, vem se tornando um material de construção alternativo que combina adequadamente todas as vantagens de uma estrutura sólida, com a vantagem de ser produzido a partir de um recurso sustentável, como ressaltado por Binderholz e British Gypsum Saint Gobain (2010).

A MLCC pode ser usada tanto para construções convencionais como para estruturas maiores, construídas normalmente em aço, concreto e alvenaria. Recentemente, a MLCC é economicamente vantajosa para estruturas maiores, como edifícios de altura média e, possivelmente, edifícios de grande altura num futuro próximo, como afirmado por Douglas e Karacabeyli (2013).

1.1 Objetivo

Apresentar o método construtivo em MLCC de modo a iniciar um processo que torne possível a aceitação do produto junto à população, frisando sempre as vantagens e desfazendo pensamentos arraigados que associam a construção em madeira a algo provisório e de qualidade inferior. Mostrar toda sua capacidade de se adequar a todo tipo de projeto arquitetônico, que foge completamente da ideia de casas de madeiras pré-fabricadas,

semelhantes a bangalôs tão comuns em hotéis fazendas. E, sobretudo, mostrar a segurança do produto em relação ao fogo, talvez por se tratar do maior receio que as pessoas têm em relação à madeira.

1.2 Justificativa

A MLCC pode ser uma opção extremamente válida para a construção civil em função de ser um sistema construtivo sustentável, uma vez que um metro cúbico de madeira armazena uma quantidade de carbono equivalente a uma tonelada de CO². O processo de construção, como será detalhado adiante, é mais rápido que os sistemas tradicionais, a perda de material é quase zero, uma vez que todo o projeto é pensado a se evitar o desperdício. Todas as peças são desenvolvidas na planta fabril e de lá seguem numeradas para serem montadas no local da obra. São necessários poucos profissionais, embora estes necessitem de qualificação específica para a montagem das peças. Requer também poucos equipamentos, sendo necessário apenas uma grua para descarregar as peças do caminhão e coloca-las em seus respectivos lugares semelhante a um grande quebra-cabeças.

CAPÍTULO 2 – ESTUDO DA ARTE

2.1 Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC)

A MLCC baseia-se no conceito de lamelas de madeiras maciças coladas em camadas sucessivas com tábuas dispostas ortogonalmente, conforme ilustrado na Figura 1.

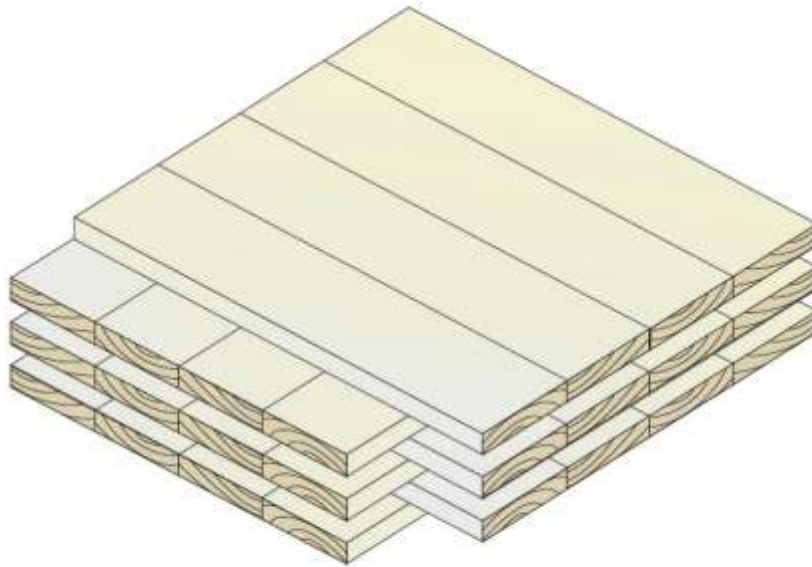


Figura 1 - Disposição das lamelas de madeira.
Fonte: Tisem (2017).

Dessa forma, uma das principais inovações da MLCC se firma na produção de elementos em painel, podendo servir tanto como elementos de parede ou de laje. A configuração cruzada das lamelas de madeira permite atingir capacidades de resistência e rigidez mais elevadas. Através da produção da MLCC, a madeira residual de inferior qualidade produzida por madeiras de origem a um produto de valor e uso como uma solução de construção ecológica. Produtos com valor agregado, como MLCC, podem resultar em um processo fabril quase, se não inteiramente, livre de resíduos e eficiente (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

Na Áustria, a MLCC é produzida em grande parte a partir de madeira de abeto vermelho (*Picea abies*), mas também pode ser fabricada a partir de abeto branco (*Abies alba*), pinheiro silvestre (*Pinus sylvestris*), lariço europeu (*Larix decidua*), abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*) e pinheiro (*Pinus cembra*). Em Graz, Áustria, construiu-se um prédio

de três andares em Brucknerstrasse (Figura 2), como parte do projeto "*massive living*" (BRANDNER, 2013). No Brasil, a empresa pioneira no sistema construtivo em MLCC é a Crosslam, estabelecida no Estado de São Paulo, no município de Suzano, a qual utiliza Pinus da variedade *taeda*, e, sob consulta, Eucalipto da variedade *grandis*.



Figura 2 - Edifício construído em MLCC.
Fonte: Binderholz (2017).

O edifício foi composto de elementos de parede feita de bétula branca (*Betula pendula*). A utilização de madeiras folhosas pode proporcionar uma maior rigidez à flexão e resistência ao cisalhamento nos painéis de MLCC sem aumentar a espessura ou, possivelmente, reduzir a espessura. Por conseguinte, se não for utilizada para toda a estrutura, as madeiras de folhosas podem revelar-se úteis para camadas transversais em painéis de MLCC por proporcionar maior confiabilidade estrutural (BRANDNER, 2013).

2.2 Processo de Fabricação

Como observado por Douglas e Karacabeyli (2013), inicialmente, a madeira é seca em estufa até um teor de umidade padrão de $12\% \pm 3\%$. A madeira muitas vezes chega à indústria já seca, atendendo esta especificação. O mesmo é o caso da classificação. Na Áustria, não é incomum que a matéria-prima já tenha sido classificada por tamanho ou teor de umidade quando chega para o processo fabril. Isto é devido ao uso da classificação visual para a

adequação estrutural e de resistência da madeira na serraria, embora a classificação visual seja muitas vezes realizada com base em um padrão adotado por cada fabricante de painéis de MLCC. Segundo Douglas e Karacabeyli (2013), na Europa, as exigências de classificação visual são de que as camadas paralelas devem ser, pelo menos, da classe 2, mas as camadas perpendiculares podem ser da classe 3. A segunda opção de se classificar é por tensão da madeira serrada e é feita de acordo com as normas desenvolvidas em cada país. Por exemplo, os Estados Unidos terão de cumprir os requisitos de classe conforme determina a norma ANSI/APA PRG 320: Padrão para Madeira Laminada Transversal (ANSI/APA, 2012).

O processo de produção é semelhante ao da madeira compensada. A principal diferença está nas características dimensionais da matéria-prima. O processo de unir e cortar a madeira para obter os comprimentos desejados para a construção da camada é o primeiro passo na montagem do painel. Uma vez que a utilização de ligação do tipo *finger joint* pode ser utilizada na produção de MLCC, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4, as limitações para as dimensões da matéria-prima são mínimas e, portanto, aumentando a capacidade do produto por ser um excelente emprego para a madeira residual (ANSI/APA, 2012).

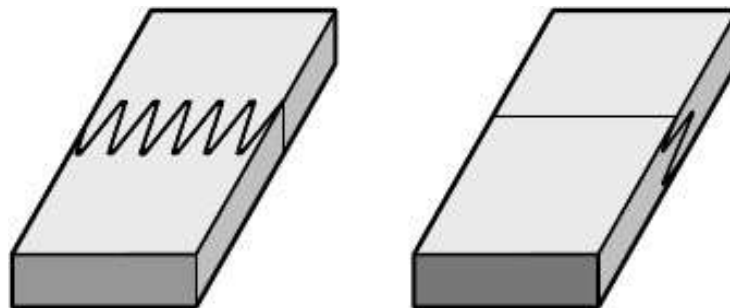


Figura 3 - Tipos de ligação com *finger joint*.
Fonte: Brandner (2013).



Figura 4 - Modelo de entalhe em *finger joint*.
Fonte: CLTHouse (2016).

As dimensões típicas da madeira serrada variam de 16 a 51 mm de espessura e 60 a 240 mm de largura (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013). Depois de a madeira ter sido aplainada nos quatro lados, as camadas são formadas por ligação superficial às faces estreitas das lamelas. As camadas transversais não necessitam, necessariamente, serem ligadas adesivamente. As camadas de madeira são, então, empilhadas ortogonalmente e coladas em conjunto sobre as faces largas.

Ao alternar a direção de cada camada em 90 graus para cada laminação, a força é distribuída através de ambas as direções do painel, em vez de uma única direção, como na madeira serrada, criando assim um produto muito mais resistente. Para assegurar que as camadas exteriores estejam alinhadas na mesma direção, o número de camadas por painel é geralmente ímpar. Ter as camadas exteriores dos painéis de MLCC utilizados como parede orientada para cima e para baixo, paralela às cargas gravitacionais, maximiza a capacidade de carga vertical da parede, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5 - Orientação externa das lamelas de MLCC para paredes.
Fonte: Douglas e Karacabeyli (2013).

Da mesma forma, para sistemas de pavimentos e de telhados, as camadas exteriores são paralelas à direção principal, ou seja, paralela ao maior vão livre (Figura 6), proporcionando a máxima resistência (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

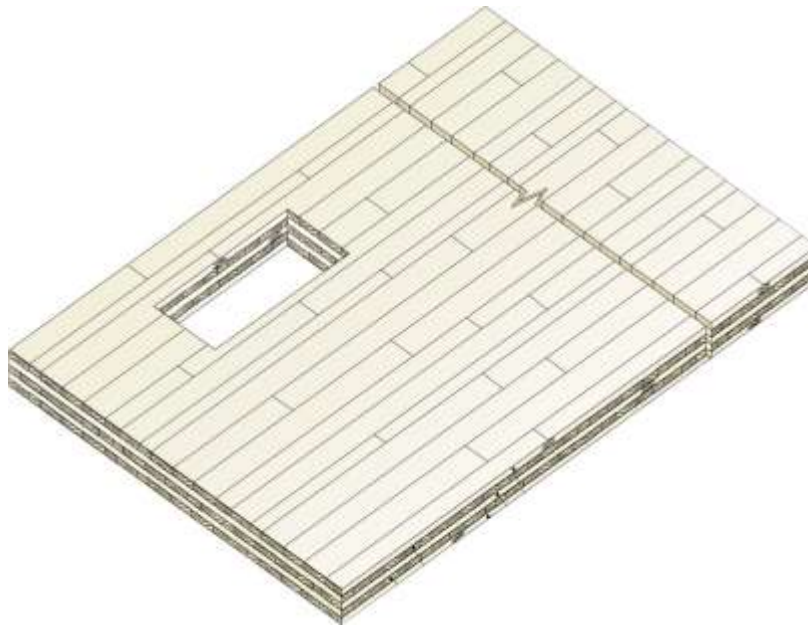


Figura 6 - Orientação externa das lamelas de MLCC para pavimentos e telhados.
Fonte: Douglas e Karacabeyli (2013).

Normalmente, um painel será composto de 3 a 7 camadas, como mostra a Figura 7.



Figura 7 - Painel de MLCC.
Fonte: ResearchGate (2017).

Os painéis de MLCC podem ser produzidos em espessuras de 50 a 500 mm. As dimensões típicas do painel máximo para uso comercial são de 18 metros de comprimento e 3 metros de largura, mas algumas empresas ultrapassam essas dimensões. Em geral, as dimensões do painel são definidas pelo fabricante.

Existem dois passos na construção destes painéis. Em primeiro lugar, é frequentemente adicionado um adesivo às camadas, conforme mostra a Figura 8. Normalmente, são utilizados adesivos de poliuretano interior / exterior (PUR), mas também podem ser utilizados adesivos de melamina ureia-formaldeído (MUF) e fenol-resorcinol-formaldeído (PRF) (CAGNON e CRESPELL, 2010). Alternativamente, podem também ser utilizados métodos que utilizam pregos ou cavilhas de madeira.



Figura 8 - Processo de colagem das lamelas dos painéis de MLCC.
Fonte: Ledinek (2017a).

Os painéis são igualmente pressionados vertical e horizontalmente, conforme mostra a Figura 9. De acordo com Brandner (2013) a pressão necessária para unir a superfície depende de vários fatores, tais como o sistema do adesivo, as espécies de madeira, a quantidade de adesivo e o sistema de aplicação do adesivo e a qualidade da superfície das camadas. De acordo Douglas e Karacabeyli (2013), com os adesivos PUR, uma pressão superficial de $0,6 \text{ N/mm}^2$ é suficiente.



Figura 9 - Processo de prensagem dos painéis de MLCC.
Fonte: Ledinek (2017b).

Um requisito adicional para alguns adesivos é a aplicação em situações controladas de aquecimento ou de climatização durante o processo de prensagem. Por exemplo, o PUR é um adesivo de pressão "a frio", as condições do ambiente devem ser mantidas a 45-50% de umidade e temperatura em torno de 20°C para assegurar a adesão efetiva à superfície (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

Seguindo estes passos, os painéis podem ser aplainados ou lixados para se obter uma superfície lisa. A instalação de isolamento e a perfuração para aberturas podem ser realizadas. Segundo Douglas e Karacabeyli (2013), quaisquer elementos do projeto, tais como as aberturas para as portas ou janelas, podem ser cortados no painel usando fresadoras com Controle Numérico Computadorizado (CNC). Sendo assim, toda a estrutura pode ser pré-fabricada na indústria de MLCC antes de ser levada para o canteiro de obras.

A pré-fabricação, além de janelas e portas, também muitas vezes inclui os elementos de conexão do painel. Isto é feito através da criação de conectores de encaixe que permitem o uso eficaz de suportes de metal, mantendo as placas pressionadas de modo que a estrutura permaneça em conjunto. Mais uma vez, métodos inovadores de painéis de conexão e o uso de cavilhas de madeira e parafusos podem ser utilizados. Portanto, a estrutura requer um esforço mínimo durante a construção (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

Os painéis de MLCC devem, então, ser testados para verificar se estão em conformidade com os padrões. Testes como resistência à flexão, resistência ao cisalhamento e delaminação devem ser realizados para garantir que a qualidade do produto seja assegurada antes de sair da fábrica. Isso geralmente é feito por um teste de amostra regular durante cada turno (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

Após os acabamentos finais, os painéis são marcados com informações como grau de aparência da MLCC, dimensões e identidade do fabricante. Para garantir que os painéis mantenham o teor de umidade desejado de 12% \pm 3%, os mesmos são totalmente envolvidos e selados em uma lona impermeável antes do transporte. No canteiro de obras, os painéis são deixados embalados sobre calços de madeira para elevá-los do chão, conforme especificam Douglas e Karacabeyli (2013).

2.3 Vantagens no Uso da MLCC

O MLCC é um material que favorece a construção de um edifício de uma maneira ininterrupta, pois todos os elementos construtivos chegam numerados ao canteiro de obra, minimizando erros e, conseqüentemente, atrasos. Tal processo reduz expressivamente o

tempo de montagem quando comparado com métodos de construção convencionais que fazem uso de concreto e aço. Os painéis podem ser utilizados em toda a estrutura da construção, como pisos, paredes e cobertura. O tempo despendido para erigir é reduzido, uma vez que os painéis são produzidos segundo a concepção de uma estrutura pré-fabricada. Em alguns casos, o tempo para a construção de um edifício de vários andares pode ser inferior a uma semana por andar (NATURALLY: WOOD, 2012). Os painéis podem ser montados em um curto espaço de tempo, o edifício é à prova de intempéries e rapidamente está pronto para ser utilizado. Um exemplo de um processo de construção de casa em MLCC pode ser visto na Figura 10.



Figura 10 - Casa em construção com MLCC.
Fonte: Douglas e Karacabeyli (2013).

Outros benefícios da MLCC como um material de construção incluem a menor produção de resíduos no local e menor demanda por trabalhadores de construção qualificados e além de perturbar menos a vizinhança ao redor da obra (CAGNON e CRESPELL, 2010). Além disso, a equipe de profissionais pode ser composta por apenas 2 a 8 carpinteiros, mais um ou dois operadores de guindastes. Portanto, um custo mais baixo e um tempo mais rápido para conclusão do projeto confere ao MLCC benefícios mais vantajosos sobre o uso de concreto e aço.

2.4 Desvantagens no Uso do MLCC

A MLCC, assim como qualquer material de construção, possui limitações. A versatilidade do MLCC enquanto sistema de construção é devido à variação da espessura dos painéis. Por exemplo, para um piso de 230 mm, com 7 camadas, a MLCC pode fornecer vãos de 7,5 metros sem vigas ou colunas (CAGNON e CRESPELL, 2010). Com a adição de concreto como reforço, a extensão pode aumentar para 10 metros sem vigas de apoio (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013). A incorporação de vigas e treliças pode aumentar a extensão para 20 metros ou mais (CAGNON e CRESPELL, 2010).

No que diz respeito à direção vertical, a Timber Research and Development Association (TRADA) projetou um prédio de MLCC que atinge 12 andares, conforme ilustrado nas Figuras 11 e 12 (CAGNON e CRESPELL, 2010). Depois disso, parece que a incorporação de aço ou concreto deve ser usado no projeto para suportar edifícios mais altos. Com esta adição, os edifícios compostos em grande parte por MLCC podem facilmente alcançar mais de 30 andares (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).



Figura 11 - Projeto estrutural de prédio em MLCC com 12 andares.
Fonte: The Architect's Newspaper, LLC (2017).



Figura 12 - Projeto de prédio em MLCC com 12 andares
Fonte: The Architect's Newspaper, LLC (2017).

2.5 Desempenho da MLCC

O desempenho da MLCC foi amplamente testado e comprovado para fornecer resultados semelhantes, ou até mesmo melhores, que o aço e o concreto. Questões como desempenho sísmico, isolamento térmico, longevidade e proteção contra incêndio desempenham papéis pertinentes na admissão da MLCC como um material pesado de construção, especialmente para edifícios maiores do que casas unifamiliares.

2.5.1 Isolamento Acústico

O isolamento de som pode ser uma tarefa difícil para qualquer material de construção. Nos Estados Unidos, os edifícios devem ser construídos adequadamente para garantir que atendam ao Código Internacional de Construção (IBC), quando necessário. A FPInnovations conduziu pesquisas sobre o tema do isolamento acústico e descobriu que, com o projeto e a instalação adequados, os edifícios em MLCC podem alcançar níveis de isolamento acústico que atendam ou excedam os padrões IBC e proporcionem condições satisfatórias para os futuros ocupantes.

Através da incorporação de materiais como placas de gesso, lã mineral e outros materiais no projeto, elementos de MLCC foram encontrados para atender ou exceder ao exigido STC e IIC de 50 (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

2.5.2 Isolamento Térmico

Sendo a MLCC composta de laminados de madeira maciça, este material de construção tem um nível inerente de resistência térmica. FPInnovations relata que os painéis MLCC fornecem um valor R^1 de aproximadamente 1,25 por polegada (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013). Conforme relatado pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar-Condicionado, o concreto fornece apenas $R=0,52$ por polegada de resistência térmica. Portanto, um edifício hermético de MLCC pode facilmente proporcionar um maior nível de resistência térmica (ARCH MEDIA GROUP LLC, 2017).

Isolamento térmico pode ser adicionado para minimizar ainda mais o ganho ou perda de calor. Através da instalação de isolamento no exterior do edifício, a resistência térmica é aumentada, permitindo a cobertura contínua, incluindo áreas em que dois painéis estão conectados em locais nos quais as perdas de ar são mais prováveis (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013).

2.5.3 Desempenho Sísmico

O desempenho sísmico do MLCC foi testado por instituições como o Instituto de Pesquisa de Árvores e Madeiras da Itália (IVALSA). A FPInnovations também apresentou os resultados aferidos em testes aplicados em edifícios de 3 e 7 andares no Japão (Figura 13). Os mesmos foram submetidos a movimentos de terremoto em uma magnitude de 7,2 na Escala Richter, com acelerações de 0,8 a 1,2 g (CAGNON e CRESPELL, 2010).

O edifício de 7 andares não apresentou deformação residual no final do ensaio. As medições foram feitas sobre a deriva entre pavimentos e a máxima deformação lateral na parte superior do edifício. Os respectivos valores foram de 40 mm e 287 mm (CAGNON e CRESPELL, 2010).

¹ Fator R, o fator é a medida da capacidade de um material para resistir ao fluxo de calor de um lado para o outro. Em termos simples, os valores R medem a eficácia do isolamento, quanto maior o número mais eficiente é o isolamento.



Figura 13 - Edifício MLCC de sete andares testado no E-Defense Laboratory em Miki, Japão.
Fonte: Douglas e Karacabeyli (2013).

2.5.4 Resistência ao Fogo

Em relação ao fogo há uma tendência natural em presumir que um edifício de madeira estaria mais vulnerável em caso de incêndio. Entretanto, edifícios construídos em MLCC tendem a ter excelente resistência ao fogo, uma vez que são construídos por componentes de grande porte. Além disso, o fogo tende a queimar em uma taxa lenta e previsível (CAGNON e CRESPELL, 2010). Um exemplo a considerar é como uma grande tora de madeira queima muito mais lento do que muitos galhos e ramos que tendem a queimar com maior rapidez. Em um caso, uma amostra de teste MLCC queimou por 3 horas e 6 minutos até perder a resistência e ruir (AMERICAN WOOD COUNCIL, 2012).

Testes de incêndio executados em escala real, de acordo com a ASTM E119 (2016), mostraram que os painéis de MLCC têm o potencial de fornecer resistência ao fogo comparável a montagens de materiais não combustíveis típicas (DOUGLAS e

KARACABEYLI, 2013). Materiais como o painel de gesso podem ser usados para proteger os painéis de MLCC em caso de incêndio. Com o MLCC, a previsibilidade do comportamento do fogo, em última instância, fornece uma excelente vantagem como material de construção.

O enorme receio quanto a incêndios é um ponto crucial e que merece ser discutido a exaustão, para assim remover barreiras baseadas na falta de conhecimento e informação. É sabido que, no caso dos materiais de construção, estes devem manter sua função estrutural por um período de tempo especificado, cujo desempenho depende da interação da estrutura de suporte, do revestimento e dos materiais isolantes. A madeira possui a propriedade, em caso de incêndio, de formar uma camada protetora, a chamada película de carbono, que previne ou atrasa a queima, de tal modo a agir contra a propagação do fogo, conforme ilustra a Figura 14.



Figura 14 - Película de carbono.
Fonte: Structure (2013).

A combustibilidade dos materiais de construção, ou seja, o comportamento ao fogo dos materiais de construção é classificado, incluindo a geração de fumaça e de partículas quentes, de acordo com a norma EN 13501-1 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2009). A legislação inclui 7 classes para o desempenho ao fogo de acabamentos de parede e teto, sendo: A1, A2, B, C, D, E e F. Há também as categorias adicionais:

Fumaça – s1, s2, s3

- s1 = pouca ou nenhuma geração de fumaça
- s2 = média geração de fumaça
- s3 = muita geração de fumaça

Partículas quentes – d0, d1, d2

- d0 = sem partículas dentro de 600 segundos
- d1 = partículas em formato de gota em 600 segundos mas que não queimam por mais de 10 segundos
- d2 = diferente de d0 ou d1

Quanto à resistência ao fogo dos componentes de construção, ao considerar as classes de resistência ao fogo, não são investigados os materiais e sim os componentes como um todo. Dependendo da duração:

- F30 retardador de fogo – 30 minutos de resistência ao fogo.
- F60 altamente retardador de fogo – 60 minutos de resistência ao fogo.
- F90 resistente ao fogo – 90 minutos de resistência ao fogo.
- F180 altamente resistente ao fogo – 180 minutos de resistência ao fogo.

A velocidade de queima da madeira laminada cruzada é definida a uma taxa de cerca de 0,7mm por minuto. Isto foi determinado por testes extensivos. Portanto, a resistência ao fogo pode ser calculada de forma precisa. No teste ao fogo não apenas os elementos foram investigados, mas também as conexões dos elementos. As conexões dos elementos são resistentes aos gases e à prova de fumaça e impedem a penetração do fogo. Benefícios que nem todos os materiais podem reivindicar. Por conseguinte, é compreensível que os bombeiros prefiram a implantação de edifícios construídos de madeira em relação a outros tipos. Pois é possível estimar o tempo que poderão permanecer dentro dela sem se comprometerem.

A maioria das vítimas de incêndio não morrem por terem o corpo queimado até a morte, mas sim devido à intoxicação pelos gases da combustão. A fim de minimizar o vazamento de gases de combustão com MLCC, todas as camadas longitudinais dos elementos são feitos de placas de camada única em toda a área (BINDERHOLZ & BRITISH GYPSUM SAINT GOBAIN, 2010).

2.5.5 Longevidade

Mensurar a longevidade de edifícios de madeira é bastante difícil, se não impossível. O que será determinante para a longevidade de um projeto em MLCC é a adequada localização do edifício. Arquitetos devem considerar o clima da área no projeto para garantir

que haja pouco ou nenhum risco do aumento no teor de umidade nos painéis de MLCC. Segundo Douglas e Karacabeyli (2013), um aumento no teor de umidade pode promover níveis fúngicos que resultarão na podridão e decadência da madeira.

Existem muitos elementos de design que podem ajudar a garantir a longevidade destes edifícios. A FP Innovations desenvolveu a ideia dos quatro D's, *Deflection, Drainage, Drying* e *Durability* do projeto dos painéis de MLCC, ou seja, Deflexão, Drenagem, Secagem e Durabilidade (DOUGLAS e KARACABEYLI, 2013). Ao incorporar elementos de design, tais como revestimentos, e fornecer espaço aéreo adequado ao redor do painel de MLCC, a água da chuva pode ser facilmente controlada e sua ameaça eliminada. Outros esforços podem ser utilizados, como usar madeiras que tenham sido tratadas com substâncias conservantes ou que sejam naturalmente mais resistentes para reduzir quaisquer riscos.

CAPÍTULO 3 – PROCESSO CONSTRUTIVO

Os painéis de MLCC caracterizam-se por ser um processo construtivo que prima pela precisão, velocidade de execução, segurança, equipe técnica reduzida, geração de poucos transtornos à vizinhança e o reduzido desperdício.

Nas construções com painéis pré-fabricados de MLCC, todos os componentes, dispostos na horizontal (lajes) ou na vertical (vedações), têm função estrutural, sendo assim responsáveis pela distribuição uniforme das cargas. Tal comportamento constitui uma vantagem por propiciar uma distribuição econômica das cargas. Em contrapartida, a grande compartimentação necessária é vista como uma desvantagem, contudo, para edifícios habitacionais ou hotéis se torna adequado (GREEN e KARSH, 2012).

Os módulos formados pelos painéis de MLCC têm função estrutural, ou seja, ocorre distribuição linear das cargas. Toda a montagem e acabamento dos painéis ocorrem na fábrica, o que garante um ambiente controlado, principalmente quanto à umidade. Para o canteiro de obras resta o posicionamento dos módulos, as ligações dos mesmos com as fundações e com as redes principais de instalações prediais (água/esgoto, energia elétrica, gás, etc).

É recomendado que durante a construção os painéis em MLCC sejam protegidos contra a umidade. Em alguns países europeus, tendas temporárias são montadas com essa finalidade, à medida que a obra avança elas são içadas, como mostra a Figura 15. Tal cuidado justifica-se por evitar problemas relacionados à variação da dimensão dos painéis e em suas juntas, bem como alterações na cor e que as peças fiquem sujas (DOUGLAS e KARACABEULI, 2013).



Figura 15 - Tenda de proteção.
Fonte: Douglas e Karacabeyli (2013).

No canteiro segue um plano com a numeração dos componentes e sua sequência de montagem. Nessa fase, os painéis ou módulos são ligados por meio de sistemas de fixação mecânica, tais como conectores metálicos e parafusos.

3.1 Paredes

3.1.1 Estruturas de Paredes Externas

A seguir serão apresentados alguns tipos de paredes em MLCC, distinguindo entre paredes internas e externas, bem como os diversos materiais que poderão vir a ser utilizados para impermeabilização quanto a água, vento e controle térmico.

3.1.1.1 Com revestimento de madeira e isolamento macio

A estrutura da parede exterior deverá contar com revestimento de madeira e isolamento macio, conforme mostra a Figura 16 (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

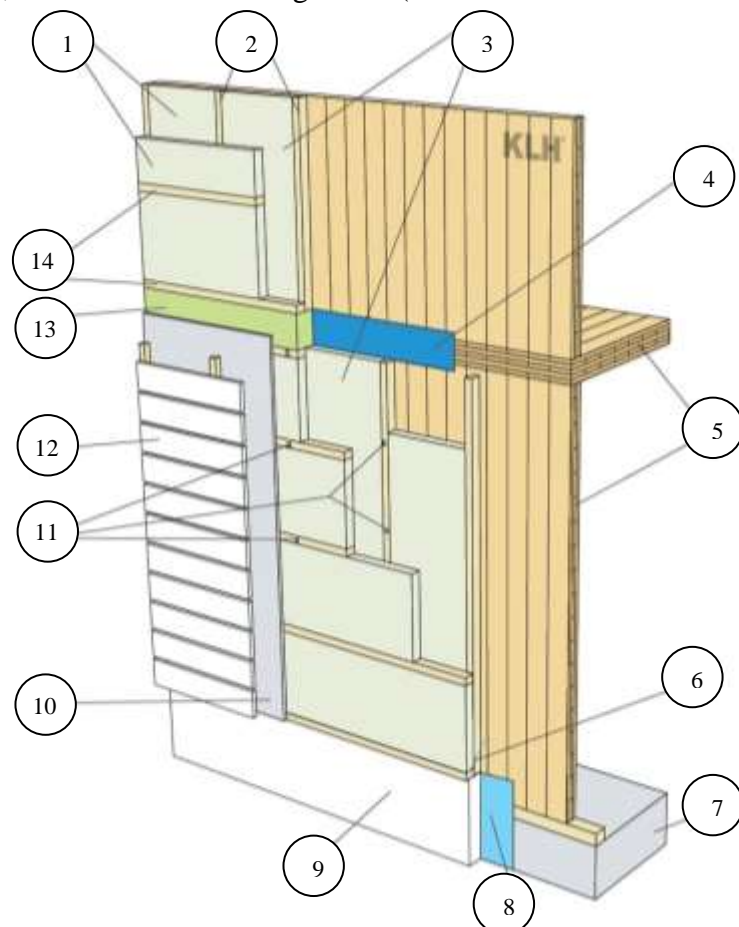


Figura 16 - Estrutura de parede externa.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Recomenda-se a utilização de uma estrutura de duas placas de isolamento a fim de evitar os efeitos adversos de possíveis articulações.
- 2 - Por exemplo, lâminas interiores verticais se as lâminas de ventilação traseiras estiverem posicionadas na vertical.
- 3 - Material isolante: a lã mineral é recomendada quando altas exigências devem ser cumpridas de proteção contra incêndio. Caso contrário, também pode ser utilizado cânhamo, celulose, fibra macia ou um produto semelhante. Os painéis de isolamento podem ser macios, o revestimento suporta a carga da fachada (cargas verticais permanentes, cargas de ventos).
- 4 - Vedação das juntas na área do teto depende do tamanho das mesmas (área protegida do vento).
- 5 - Elementos de laje e de parede de acordo com as exigências estáticas KLH.
- 6 - Em fachadas pesadas, os parafusos devem ser inseridos em diagonal, a fachada deve passar por análise estática (vento, o peso próprio da fachada).
- 7 - Base de concreto.
- 8 - Selar acima das placas de vedação.
- 9 - Isolamento de acordo com requisitos: por exemplo, poliestireno extrudado (XPS) isolamento contra os respingos de água.
- 10 - Barreira impermeável à prova de vento, dependendo do desenho da fachada. Quanto mais aberta a fachada, mais importante é essa camada (as juntas abertas levam em consideração a resistência aos raios ultravioleta).
- 11 - Parafuso de conexão de acordo com os requisitos estáticos; prestar atenção a encontros na área dos cantos.
- 12 - Fachada de madeira, por exemplo.
- 13 - Com a pré-fabricação da construção da fachada, recomenda-se a posterior instalação do isolamento na área da junção.
- 14 - Lâminas transversais como estrutura intermediária.

3.1.1.2 Com corpos vazios para preenchimento com isolante de celulose

Na Figura 17 são apresentados os procedimentos e os materiais utilizados na parede com corpos vazios de acordo com KLH Massivholz GMBH (2012).

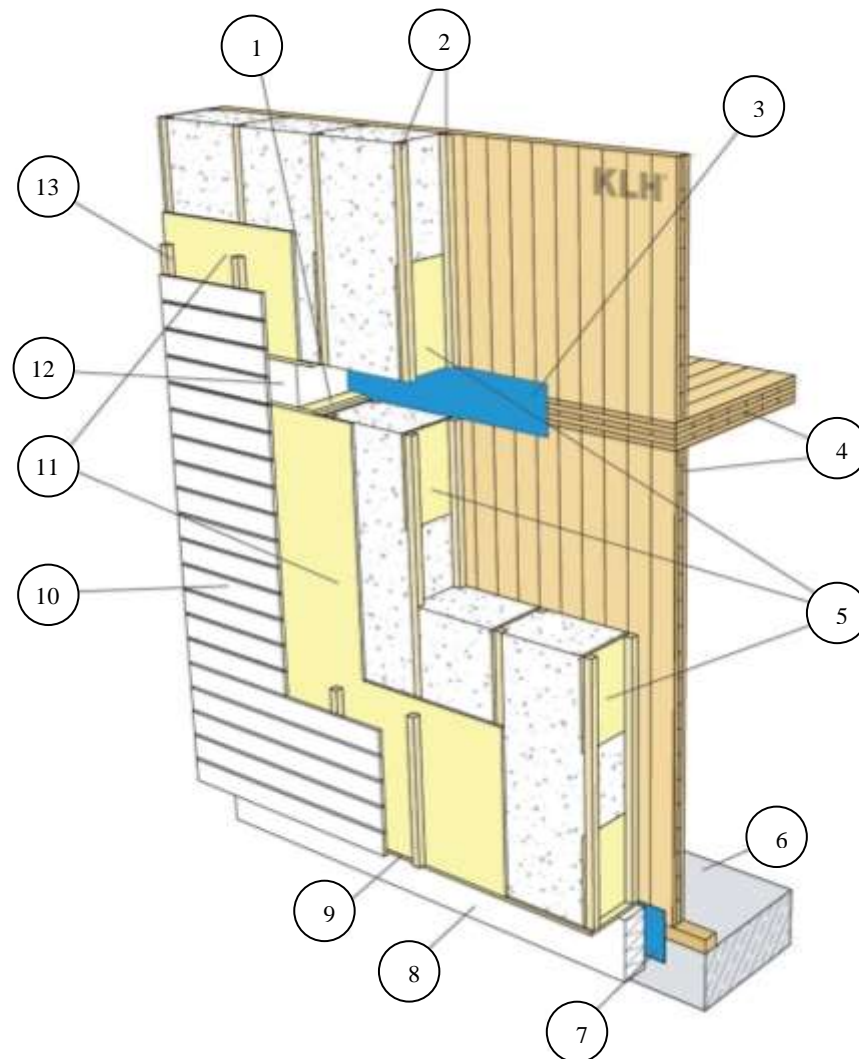


Figura 17 - Parede com corpos vazios.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Acabamento superior dos corpos ocos, por exemplo, com painéis de OSB, por isso as paredes também podem ser pré-fabricadas.
- 2 - Colocação de ripas para produzir as cavidades; normalmente bastam ripas de 5/5, dependendo dos parafusos e pregos utilizados, e da espessura dos painéis de OSB.
- 3 - Vedar as juntas na área do teto ou selar as juntas entre os componentes KLH.
- 4 - Elementos de parede e teto KLH dependendo da exigência estática.
- 5 - Fixar as tiras verticais do painel OSB de acordo com os requisitos estáticos e conectá-los às ripas (cargas verticais, sucção do vento). Não colocar as tiras verticais do painel OSB continuamente, dessa forma há uma melhora no coeficiente de isolamento térmico, evitando-se assim as chamadas pontes térmicas (importantes para casas passivas).
- 6 - Base de concreto.
- 7 - Vedar completamente as juntas também na transição para o concreto, conexão à área

impermeável no concreto.

8 - Isolamento básico de acordo com os requisitos, por exemplo, isolamento de XPS na área onde há respingos de água.

9 - Acabamento inferior do corpo oco, por exemplo, podem-se utilizar painéis de OSB.

10 - Revestimento horizontal.

11 - Acabamento externo, contínuo. Por exemplo, painel de *Oriented Strand Board* (OSB) ou painel de fibra macia.

12 - Por ser um produto pré-fabricado, depois deve fechar as tiras de isolamento na área da junção.

13 - Ripas para a camada de ventilação traseira.

3.1.1.3 Com face de gesso sobre camada de suporte

Na parede demonstrada na Figura 18 há o detalhamento dos procedimentos e materiais quando utilizado camada de gesso em sua construção, conforme determina a KLH Massivholz GMBH (2012).

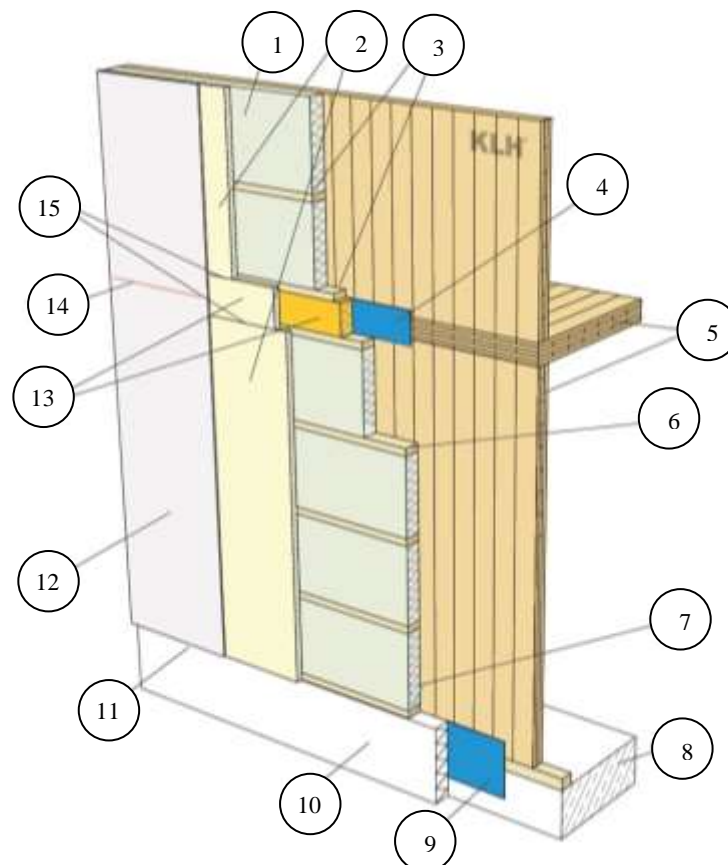


Figura 18 - Parede com face de gesso.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Isolamento macio entre o revestimento de madeira.
- 2 - Ajuste da camada de base de gesso para a distância do revestimento.
- 3 - Revestimento de madeira de acordo com a exigência estática. Cuidado com as cargas verticais (o gesso e as camadas de base de gesso são bastante pesadas) e com a sucção do vento.
- 4 - Vedar as juntas na área do teto ou fazer as juntas entre os componentes KLH adequadamente - ajustar ao sistema de gesso (difusão de vapor).
- 5 – Placas, paredes e lajes KLH de acordo com requisitos estáticos.
- 6 - Revestimento como base para a base de gesso. Se necessário, incluir uma segunda camada de revestimento (casas passivas).
- 7 - Usar conexões de parafusos angulares devido ao peso das camadas da base de gesso.
- 8 - Base de concreto.
- 9 - Vedar completamente as juntas também na transição para o concreto, conexão à área impermeável no concreto.
- 10 - Isolamento básico de acordo com os requisitos. Por exemplo, isolamento de XPS na área de onde há respingos de água.
- 11 - Proteger as bordas com as seções apropriadas (dependendo do sistema de gesso).
- 12 - Ajustar o gesso externo para toda a construção da parede (difusão de vapor).
- 13 - Adicionar uma camada isolante e uma base de gesso no local.
- 14 - Sempre que necessário, prover juntas de fixação na área do teto.
- 15 - Encaixar completamente as juntas entre os painéis de base de gesso para reduzir possíveis reassentamentos.

3.2 Estanqueidade: Camada de Vedação por Meio de Barreira de Convecção

3.2.1 Junta de teto

Nesse tópico é apresentado como deve ser a vedação da estrutura entre a laje do teto e as paredes conforme determina a KLH Massivholz GMBH (2012). A Figura 19 ilustra os procedimentos e materiais utilizados.

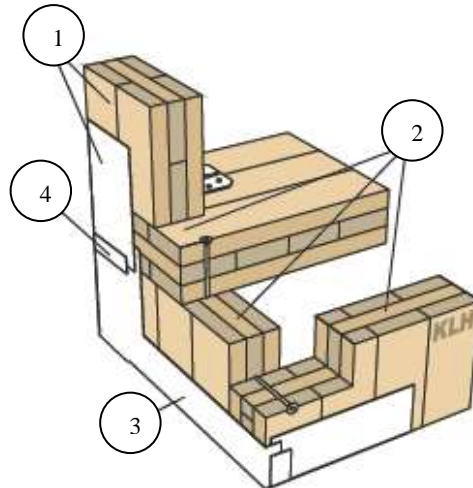


Figura 19 - Junta de teto.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Paredes externas seladas com películas aplicadas do lado de fora (a permeabilidade ao vapor da película é ajustada de acordo com o restante dos materiais da parede).
- 2 - Neste projeto, as juntas podem ser finalizadas sem fitas de vedação.
- 3 - Barreira de convecção formada por um material impermeável a difusão, ajustado conforme a organização das camadas dos compartimentos.
- 4 - Vedação da área de sobreposição.

3.2.2 Conexão base

Na Figura 20 é demonstrado como se deve proceder em relação à fixação da parede na base concreto, bem como deve ser realizada a vedação entre a base e a parede (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

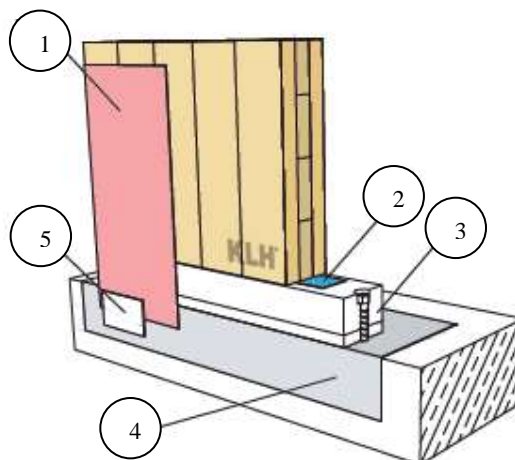


Figura 20 - Conexão base.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Estrutura da fachada com barreira de convecção. Uma película permeável é aplicada em toda a área da superfície do painel externo.
- 2 - Se uma camada de vedação especial for aplicada ao exterior, não é necessária fita de vedação.
- 3 - Peitoris de madeira assentados em base de argamassa para compensar irregularidades.
- 4 - Vedação da laje do piso.
- 5 - Conexão das camadas de vedação com produtos aprovados – de acordo com os materiais utilizados.

3.3 Projeto Hermético da Construção – Estanqueidade ao Ar

3.3.1 Paredes externas herméticas sem filmes adicionais - junta de teto

A seguir é apresentado como deve ser o projeto para a vedação hermética da estrutura entre a laje do teto e as paredes, como ilustra a Figura 21, de acordo a KLH Massivholz GMBH (2012).

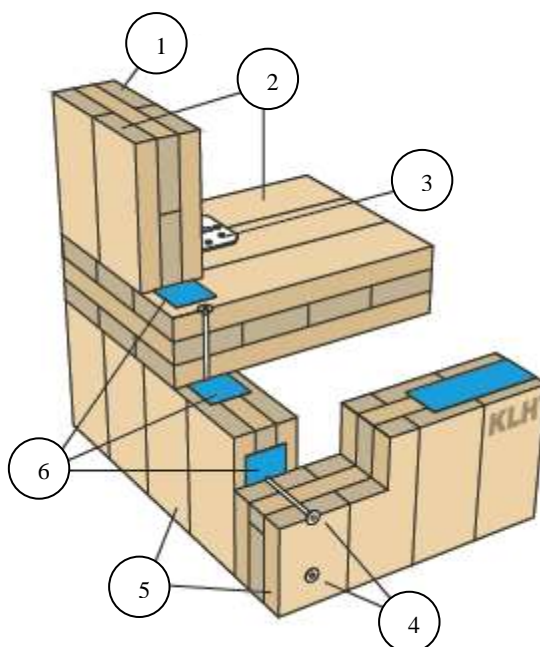


Figura 21 - Parede externa hermética.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Paredes sem qualidade de visibilidade são feitas com painéis de 5 camadas ou paredes industriais com qualidade de visibilidade são feitas com painéis de 3 camadas.
- 2 - Painéis de parede e teto KLH dependem da necessidade estática.

3 - Por exemplo, esquadro BMF para a transmissão de forças entre a parede e o piso.

4 - As juntas de canto de placas KLH são feitas por meio de parafusos de madeira para garantir uma pressão suficiente sobre as fitas de vedação; também podem ser usados se necessário, suportes padrão.

5 - Painéis KLH de acordo com a exigência estática.

6 - Inserir fita de vedação em todas as juntas dos painéis. Para a execução da união do teto ver também o item: 3.3 (Vedação das juntas transversais do teto).

3.3.2 Conexão base

A Figura 22 apresenta como deve ser o projeto para a vedação hermética da estrutura da parede com a base de acordo o KLH Massivholz GMBH (2012).

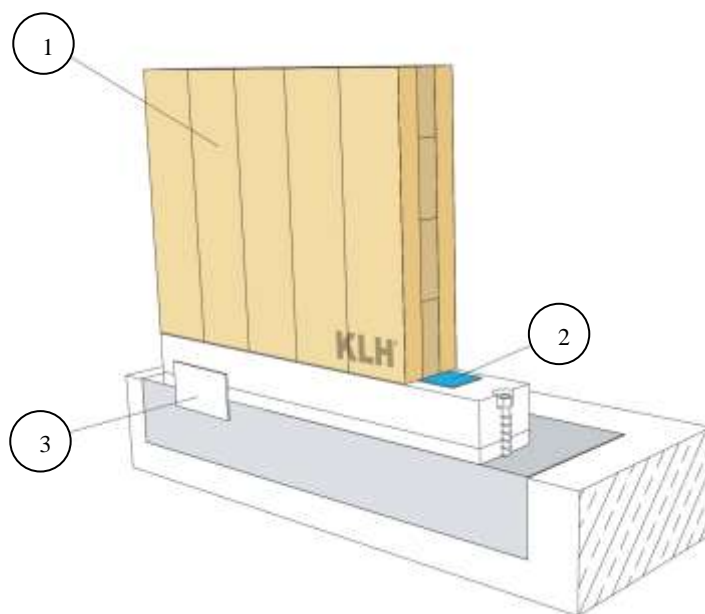


Figura 22 - Conexão base.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

1 - Construção da fachada sem retardador de vapor. O painel KLH é considerado como uma camada interior hermética (paredes sem qualidade de visibilidade feitas de painéis com 5 camadas ou paredes de qualidade de visibilidade industrial feitas de painéis com 3 camadas).

2 - Fita adesiva altamente importante como conexão para o peitoril com a parede.

3 - Conexão das camadas de vedação com produtos aprovados (ajustados aos diferentes materiais).

3.3.3 Vedação das juntas transversais do teto

Na Figura 23 pode ser observado como deve ser o projeto para a vedação hermética das juntas transversais do teto, conforme a publicação da KLH Massivholz GMBH, (2012).

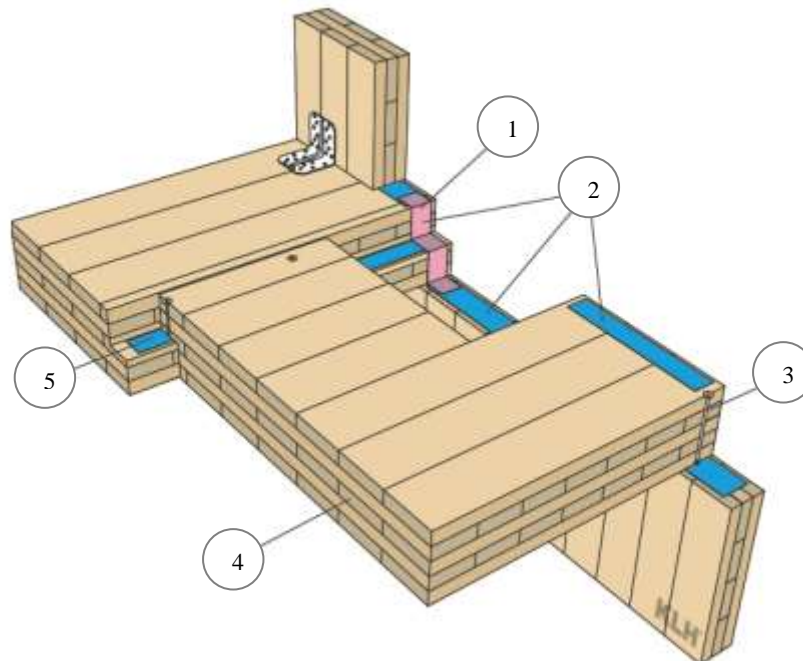


Figura 23 - Vedação das juntas transversais do teto.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Organizar as tiras de vedação lateralmente ao perfil escalonado.
- 2 - Construção hermética somente com o painel, colocando fitas de vedação desde que não haja barreiras de vapor ou de convecção dispostos no exterior.
- 3 - Parafuso de conexão de acordo com os requisitos estáticos.
- 4 - Painéis de teto KLH de acordo com a exigência estática.
- 5 - Fitas de vedação necessárias em caso de precisar de juntas herméticas.

3.4 Conexão de Parede para a Viga do Telhado

Na Figura 24 é apresentado como deve ser a ligação entre a parede e o telhado e o respectivo isolamento térmico, conforme determina a KLH Massivholz GMBH, (2012).

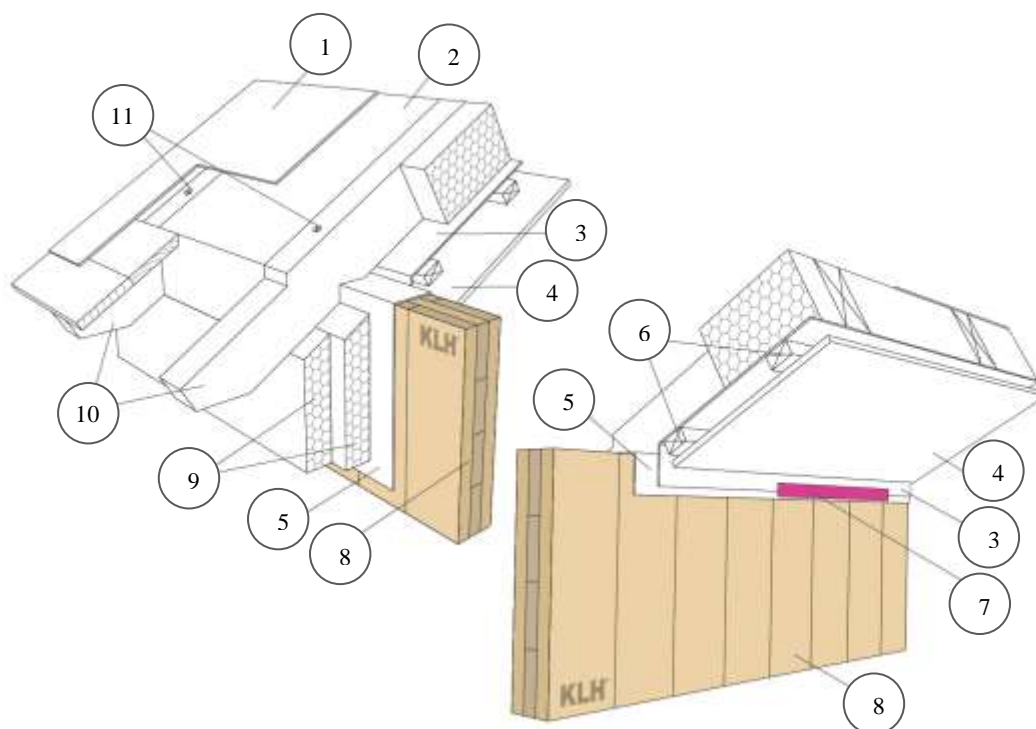


Figura 24 - Conexão de parede para a viga do telhado.
 Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Por exemplo, a membrana adicional é colocada sob o telhado convencional.
- 2 - Isolamento térmico.
- 3 - Barreira de vapor.
- 4 - Camada inferior. Por exemplo: placas de gesso.
- 5 - Barreira de vapor.
- 6 - Subestrutura.
- 7 - Selagem da barreira de vapor do telhado com o retardador de vapor da parede.
- 8 - Painel KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 9 - Duas camadas de isolamento térmico.
- 10 - Caibros de acordo com os requisitos estáticos.
- 11 - Ancoragem das vigas contra a sucção, definindo a conexão do painel do telhado conforme necessário.

3.5 Projeto de Construção de Telhado Inclinado

Nesse item é exemplificado como se deve executar o projeto de telhados com planos inclinados, conforme ilustra a Figura 25 (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

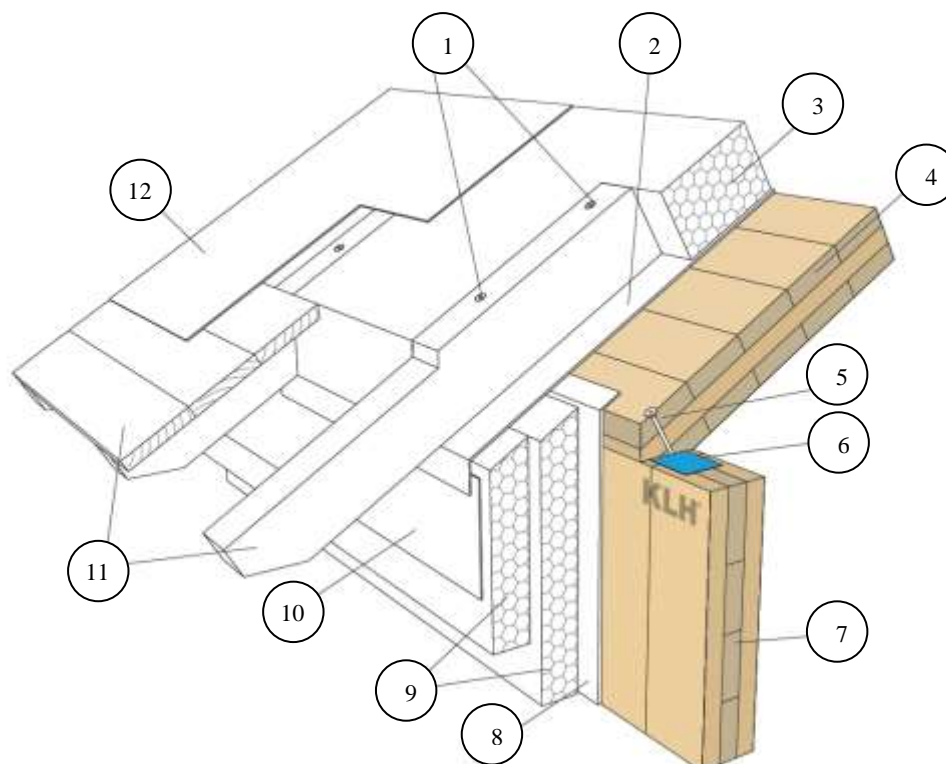


Figura 25 - Projeto de telhado inclinado.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Conexão da cabeça do caibro de acordo com os requisitos estáticos.
- 2 - Barreira de vapor.
- 3 - Isolamento térmico.
- 4 - Painel KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 5 - Parafusos de conexão de acordo com os requisitos estáticos.
- 6 - Inserir fita de vedação quando necessário.
- 7 - Painel KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 8 - Barreira de vapor.
- 9 - Duas camadas de isolamento térmico.
- 10 - Impermeabilização ao vento.
- 11 - Cabeça do caibro para formar os beirais.
- 12 - Por exemplo, camada de isolamento adicional ao telhado quando necessário.

3.6 Formação de Peitoril em Telhado Plano

A Figura 26 detalha como deve ser o projeto do peitoril em telhados planos, de acordo com as instruções da publicação da KLH Massivholz GMBH (2012).

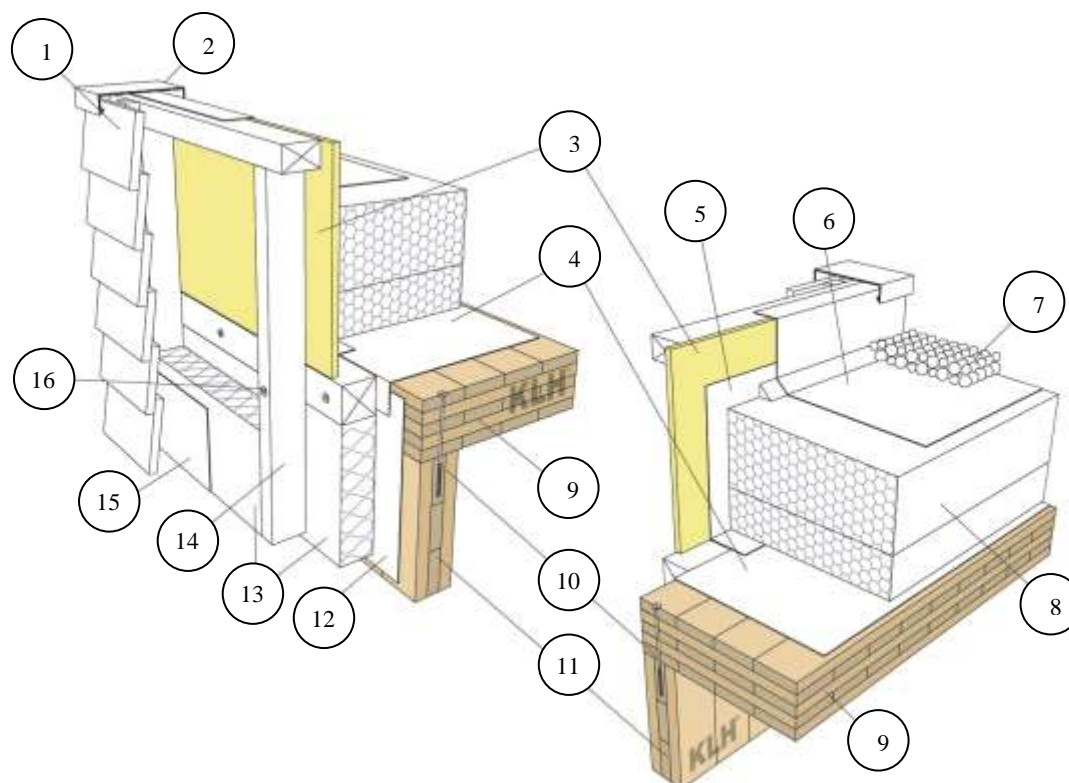


Figura 26 - Formação de peitoril.
 Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Fachada ventilada traseira.
- 2 - Placa de cobertura.
- 3 - Por exemplo, painel OSB de 15 mm como base selante.
- 4 - Barreira de vapor.
- 5 - Elevação da barreira de vapor para a vedação temporária durante a fase de construção.
- 6 - Impermeabilização.
- 7 - Camada de cascalho.
- 8 - Isolamento térmico na inclinação.
- 9 - Painel KLH de 5 camadas de acordo com os requisitos de estática.
- 10 - Parafusos de conexão de acordo com os requisitos estáticos.
- 11 - Painel KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 12 - Barreira de vapor.
- 13 - Duas camadas de isolamento térmico.
- 14 - Revestimento vertical da estrutura de apoio para o peitoril.
- 15 - Impermeabilização ao vento.
- 16 - Ancoragem do revestimento contra a sucção.

3.7 Projeto de Corrimão para Andar no Telhado (Projeto Fechado)

Neste item é apresentado o projeto de como deve ser o corrimão de segurança para telhados de acordo com a KLH Massivholz GMBH (2012), conforme ilustra a Figura 27.

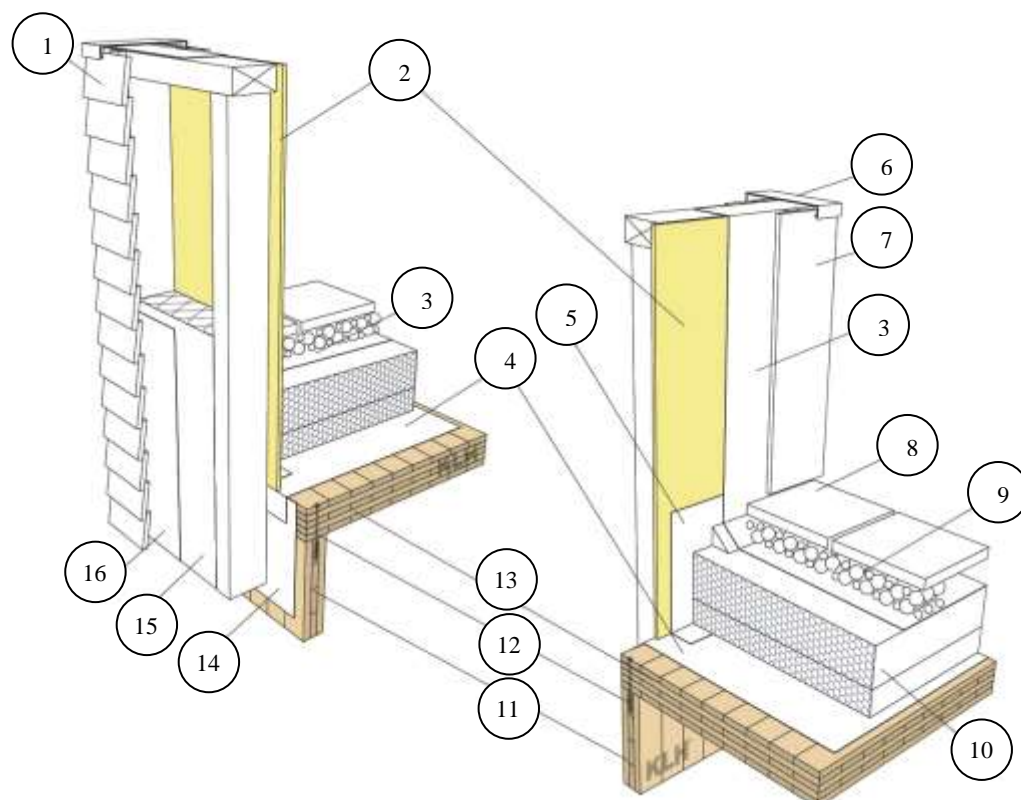


Figura 27 - Projeto de corrimão para o telhado.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Fachada ventilada traseira.
- 2 - Pannel OSB de 15 mm como uma subestrutura para a camada de vedação.
- 3 - Impermeabilização.
- 4 - Barreira de vapor.
- 5 - Elevação da barreira de vapor para vedação temporária durante a fase de construção.
- 6 - Placa de cobertura.
- 7 - Revestimento.
- 8 - Pavimento de placas.
- 9 - Camada de cascalho.
- 10 - Isolamento térmico na inclinação.
- 11 - Pannel KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 12 - Parafusos de conexão de acordo com os requisitos estáticos.
- 13 - Pannel KLH de 5 camadas de acordo com os requisitos estáticos.

- 14 - Barreira de vapor.
- 15 - Isolamento térmico.
- 16 - Impermeabilização ao vento.

3.8 Projeto de Construção de Beiral para Telhados Planos

A Figura 28 ilustra o projeto de construção de um beiral para telhado plano, conforme a publicação da KLH Massivholz GMBH (2012).

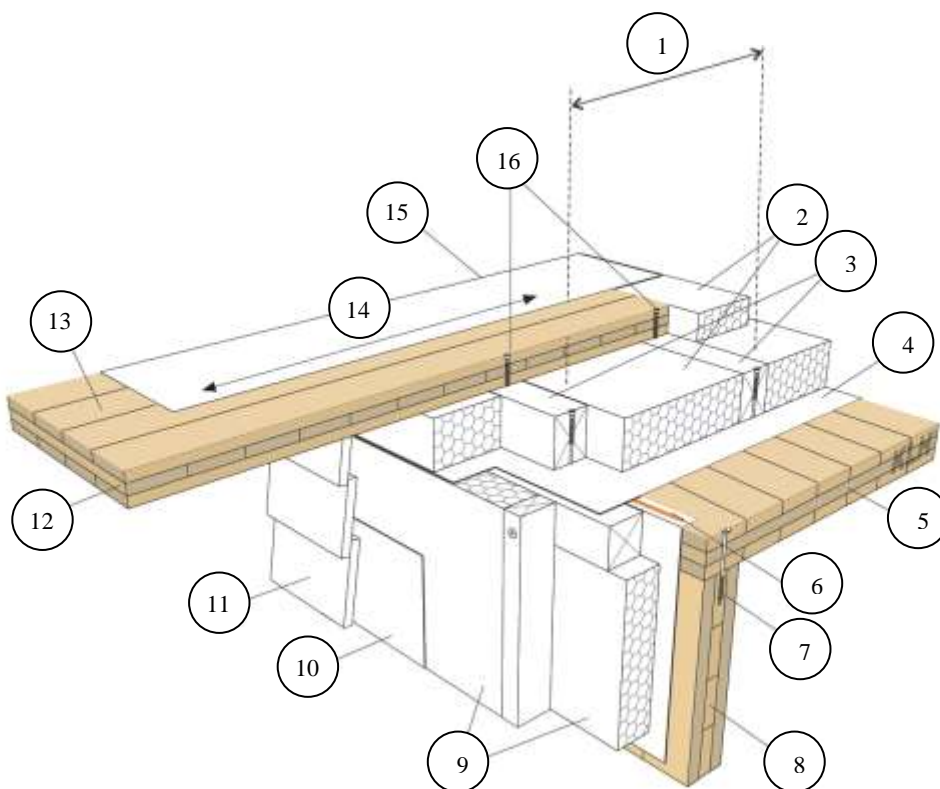


Figura 28 - Projeto de construção de beiral.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Ancoragem de pelo menos 50% do comprimento da viga ou de acordo com a exigência estática. Ancoragem da tensão é de importância decisiva.
- 2 - Isolamento térmico.
- 3 - Construção intermediária aparafusada ao teto subjacente.
- 4 - Barreira de vapor com a inserção de alumínio.
- 5 - Elemento de telhado KLH de acordo com os requisitos estáticos.
- 6 - Junta de vedação.
- 7 - Conexão por parafusos de acordo com os requisitos estáticos.
- 8 - Elemento de parede KLH de acordo com as exigências estáticas.

- 9 - Isolamento térmico com duas camadas.
- 10 - Impermeabilização ao vento.
- 11 - Fachada traseira ventilada.
- 12 - Pannel inferior com revestimento ou com painéis de madeira sólida KLH com qualidade visual, aplicar terminação de borda conforme necessário.
- 13 - Pannel KLH de acordo com os requisitos estáticos, com saliência de canto de pelo menos 5 camadas.
- 14 - Painéis de madeira sólida KLH; por exemplo, dispostos em declive.
- 15 - Impermeabilização.
- 16 - Ancoragem do beiral de acordo com os requisitos estáticos.

3.9 Painéis de Telhado em Balanço - Impermeabilização da Construção

Nesse tópico é detalhado o projeto de telhado em balanço e como proceder para a adequada impermeabilização da construção, conforme mostram as Figuras 29 e 30 (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

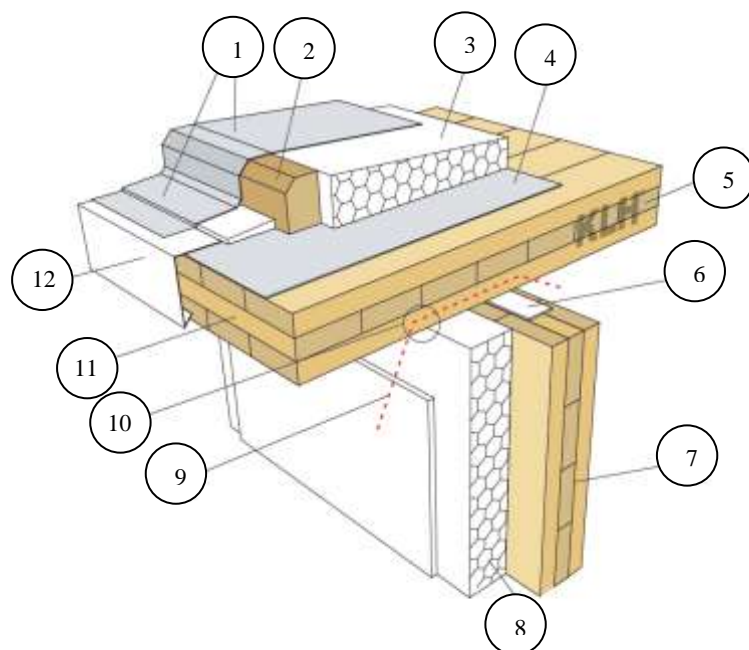


Figura 29 - Pannel de telhado em balanço.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Membrana do telhado.
- 2 - Faixa de margem para a fixação do isolamento.
- 3 - Isolamento em cunha.

- 4 - Barreira de vapor.
- 5 - Elemento para telhado KLH conforme requisitos estáticos.
- 6 - Vedação larga na junção, caso não haja barreira de vapor na parede.
- 7 - Elemento de parede KLH de acordo com as exigências estáticas.
- 8 - Isolamento com reboco exterior.
- 9 - Ponto fraco: possível percurso de ar ao longo das juntas (entre placas e painéis e ao longo da madeira do meio).
- 10 - Perigo de danos provocados pela umidade devida à condensação de ar no interior.
- 11 - Elemento do telhado KLH projetado para fora, como beiral.
- 12 - Revestimento de borda.

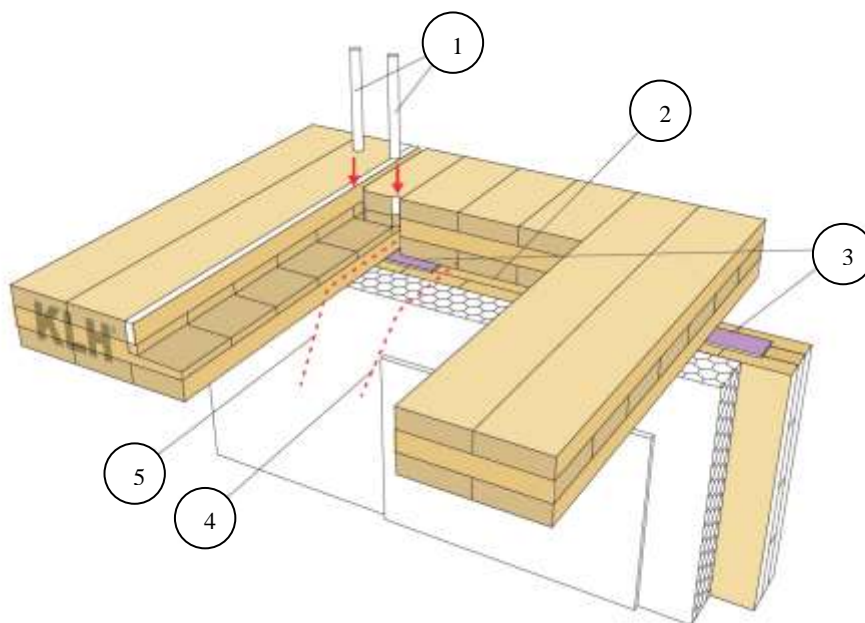


Figura 30 - Estanqueidade da construção.
 Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - É obrigatório o uso de juntas de vedação; introdução, por exemplo, de cavilhas de madeira sobre as placas.
- 2 - Inserir fita de vedação; se não for usada, as juntas não ficam bem vedadas.
- 3 - Fitas de vedação largas; por exemplo, para compensar irregularidades.
- 4 - Possível fuga de ar nas juntas entre as placas. Pode ser prevenida com áreas de superfície a vista.
- 5 - Possível fuga de ar ao longo da ligação entre as placas (por exemplo, no perfil escalonado); esta via é complexa para ser completamente selada.

3.10 Montagem de Claraboia de Telhado – Sistema para Evacuação de Fumaça

Na Figura 31 é apresentado o projeto de construção de claraboias de telhado para eliminação de fumaça, conforme a publicação da KLH Massivholz GMBH (2012).

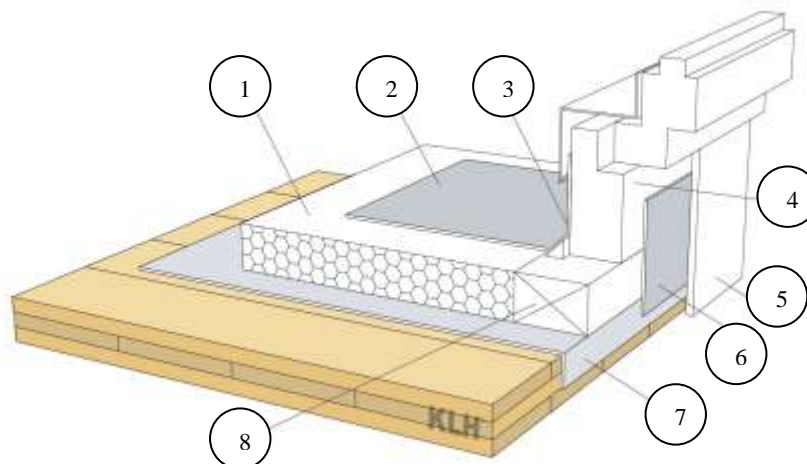


Figura 31 – Montagem de claraboias.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Painéis de isolamento do telhado.
- 2 - Membrana do telhado.
- 3 - Suspensão da membrana do telhado.
- 4 - Elemento de complemento de isolante (veja também as especificações dos fabricantes individuais).
- 5 - Revestimento interno.
- 6 - Conexão entre a barreira de vapor e o interior da moldura.
- 7 - Superfície de cobertura da barreira ao vapor virado para dentro.
- 8 - Elementos de fixação, dependendo do elemento de fixação da abóbada da claraboia (compensação de altura), frequentemente serve também como uma viga cruzada (em geral, usado para painéis finos).

3.11 Placas de Varanda em Balanço – Vedação da Construção

Nesse tópico é detalhado o projeto para construção de uma varanda/terraço em balanço, ilustrada na Figura 32 (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

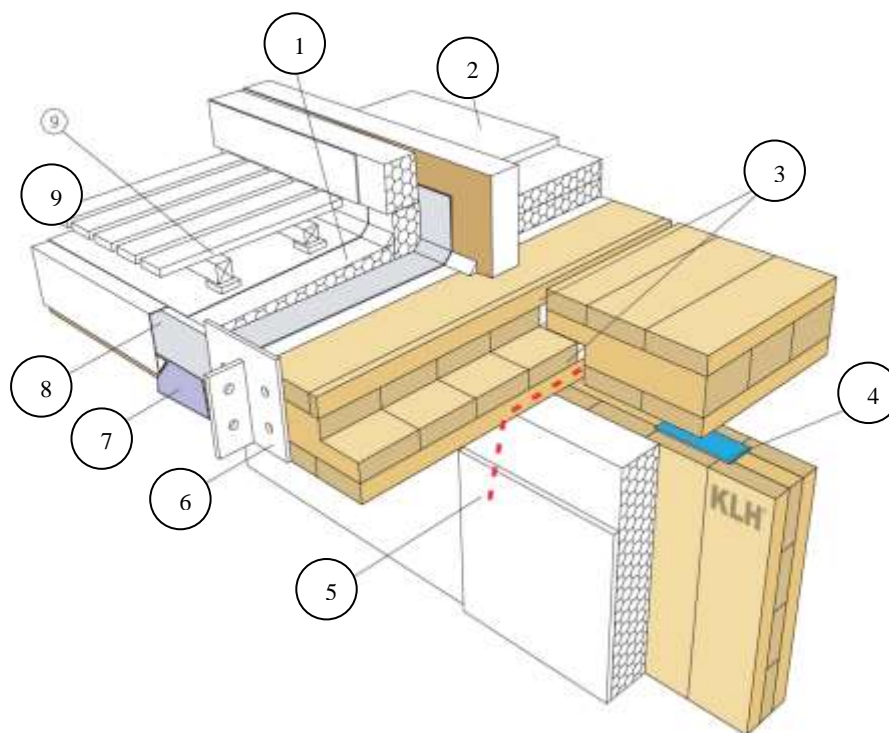


Figura 32 - Placas de varanda.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Formação inclinada com isolamento em cunha.
- 2 - Estrutura do piso interno.
- 3 - Vedar as juntas entre as placas; verificar antes de fazer qualquer trabalho de reboco.
- 4 - Faixa de vedação larga e contínua.
- 5 - Possível rota de ar ao longo da junta de perfil escalonado.
- 6 - Uma conexão de corrimão na parte da frente só é possível em painéis grossos (estática).
- 7 - Selar com chapa de gotejamento.
- 8 - Revestimento de borda.
- 9 - Revestimento de madeira na área do terraço.

3.12 Ponto de Contato da Janela

3.12.1 Parede externa com câmara de ar

A seguir é descrito como realizar o assentamento de janelas e de portas em estruturas de MLCC. A Figura 33 ilustra os materiais e procedimentos de acordo com o manual da KLH Massivholz GMBH (2012).

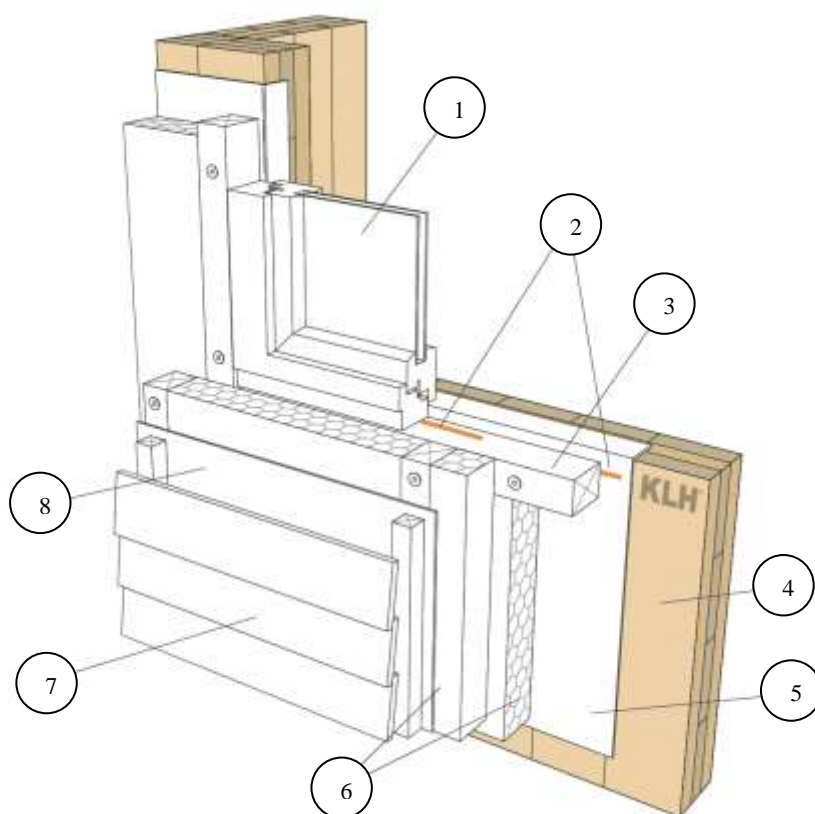


Figura 33 - Parede externa com câmara de ar.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Elementos de janela ou de porta.
- 2 - Fitas de vedação para selar o perímetro permeável ao vento - instalação das janelas/portas de acordo com as informações do fabricante ou de acordo com o padrão.
- 3 - Aparafusar a moldura da janela na parede.
- 4 - Elemento KLH de parede.
- 5 - Instalação, eventualmente, de uma barreira de convecção ou de vapor, ajustada à estrutura adicional da parede.
- 6 - Isolamento da parede em 2 camadas entre os revestimentos de madeira.
- 7 - Fachada de madeira com câmara de ar.
- 8 - Placa impermeável, dependendo do tipo de isolamento.

3.12.2 Parede externa com gesso na fachada

Na Figura 34 é detalhado o assentamento de janelas e de portas em estruturas de MLCC quando a mesma é revestida com painéis de gesso (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

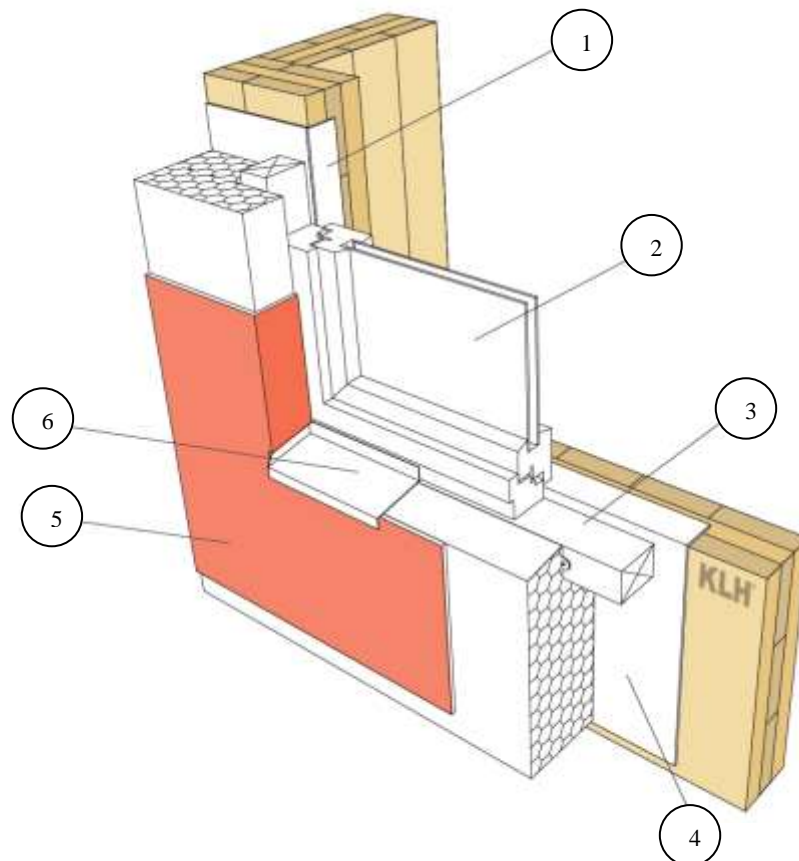


Figura 34 - Parede externa com gesso na fachada.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Retardador de vapor - puxado para dentro para selar a janela.
- 2 - Janela.
- 3 - Moldura secundária.
- 4 - Barreira de vapor, ajustada à estrutura da fachada (com gesso denso, pode ser necessária 5 uma barreira de vapor variável).
- 5 - Fachada de gesso.
- 6 - Peitoril da janela inclinado.

3.13 Instalações – Áreas Molhadas

3.13.1 Encaixes e aberturas para instalações

Nesse item são apresentados os métodos adequados para a realização de aberturas e encaixes para instalação de rede hidráulica e de esgoto, de modo que tais procedimentos não comprometam a estabilidade dos componentes de parede e piso. A Figura 35 exemplifica o modo correto de realizar as aberturas e encaixes (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

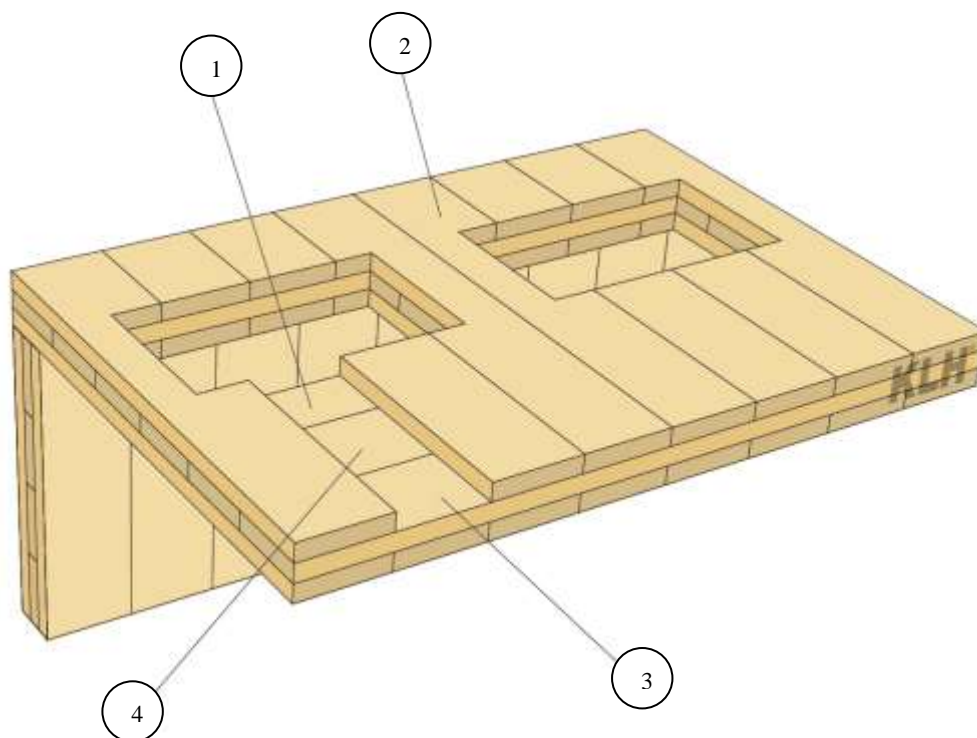


Figura 35 - Encaixes e aberturas para instalações.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Ranhura no lado superior (por exemplo, para canos de drenagem quando necessário maior declive longitudinal).
- 2 - Se as aberturas para os cabos estiverem dispostas transversalmente à direção da extensão do teto, elas devem ser continuamente subdivididas com nervuras, ranhuras largas e contínuas são possíveis sem medidas adicionais somente para painéis de espessuras maiores.
- 3 - Ranhuras no lado superior da área de abertura deverão ser feita apenas até a primeira camada transversal, do contrário, pode envolver a transferência de carga transversal na área perfurada.
- 4 - Nos encaixes executar verificação estática.

3.13.2 Áreas molhadas

Neste tópico é descrito como o sistema de vedação deve ser realizado para evitar vazamentos e infiltrações. Na Figura 36 pode-se ver em detalhes como realizar a impermeabilização em áreas molhadas (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

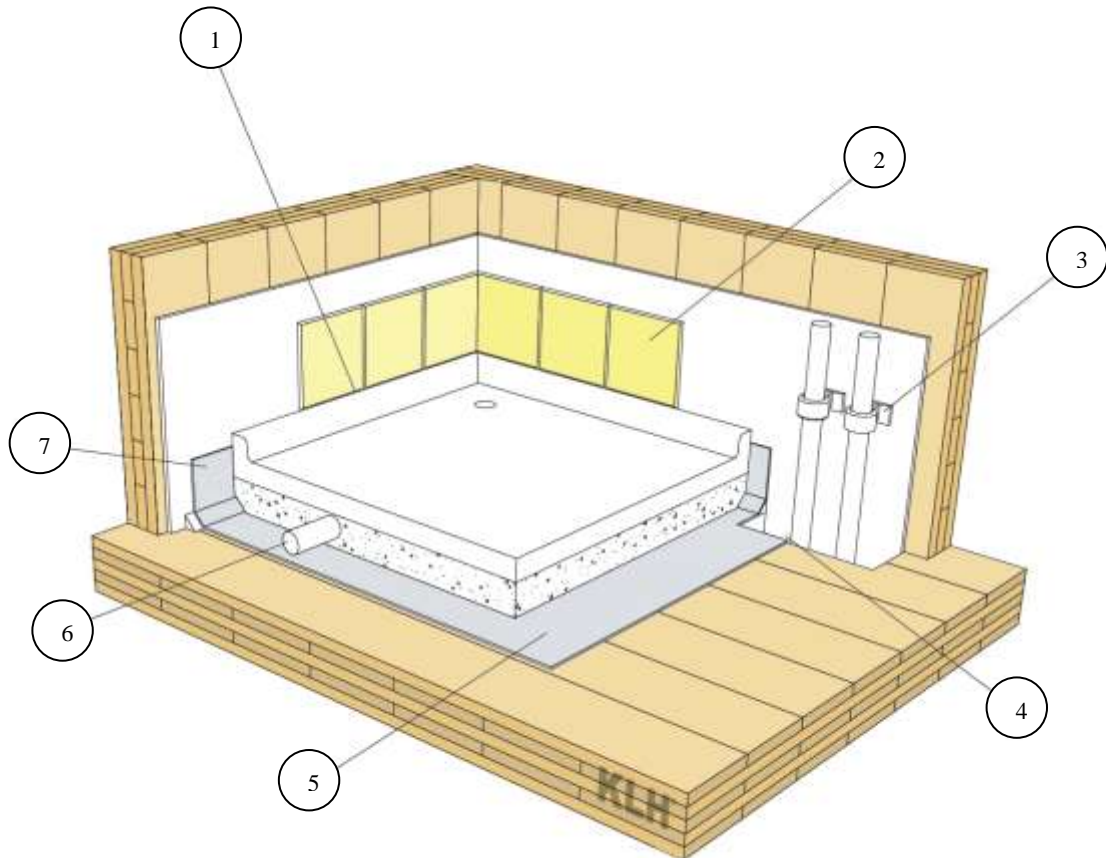


Figura 36 - Áreas molhadas.
 Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Geralmente, as juntas entre os azulejos não são impermeáveis. Articulações, por exemplo, entre a base do chuveiro e os azulejos (juntas de silicone) necessitam de manutenção e, por conseguinte, devem ser verificadas periodicamente.
- 2 - Azulejos nos painéis de gesso cartonado (adequados para áreas molhadas); em áreas expostas a salpicos de água (banheira e a área do chuveiro) com camada de vedação adicional entre os azulejos e placas de gesso (também na estrutura do pavimento: vedação horizontal sob os pisos, a vedação por trás ou sob os pisos não é mostrado na Figura 36).
- 3 - A montagem dos tubos é isolada acusticamente.
- 4 - Puxar as camadas de vedação no eixo da instalação - no caso de danos causados pela água, isso pode ser detectado na parede do eixo subjacente.
- 5 - Camada de selagem simples diretamente na placa de madeira sólida KLH.
- 6 - Não aparafusar os tubos no chão. Se necessário, colá-los ou fixá-los ao chão com um enchimento.
- 7 - Elevação da camada de vedação em todos os lados, inclusive na área da porta.

3.14 Instalação Elétrica

3.14.1 Ranhuras em painéis de telhado com beiral de madeira exposta

Na Figura 37 verifica-se como devem ser as ranhuras/encaixes nos elementos de parede e teto para a instalação da rede elétrica. Os mesmos cuidados em relação às aberturas e encaixes para as áreas molhadas devem ser observados neste caso para não se perder a capacidade resistência (KLH MASSIVHOLZ GMBH, 2012).

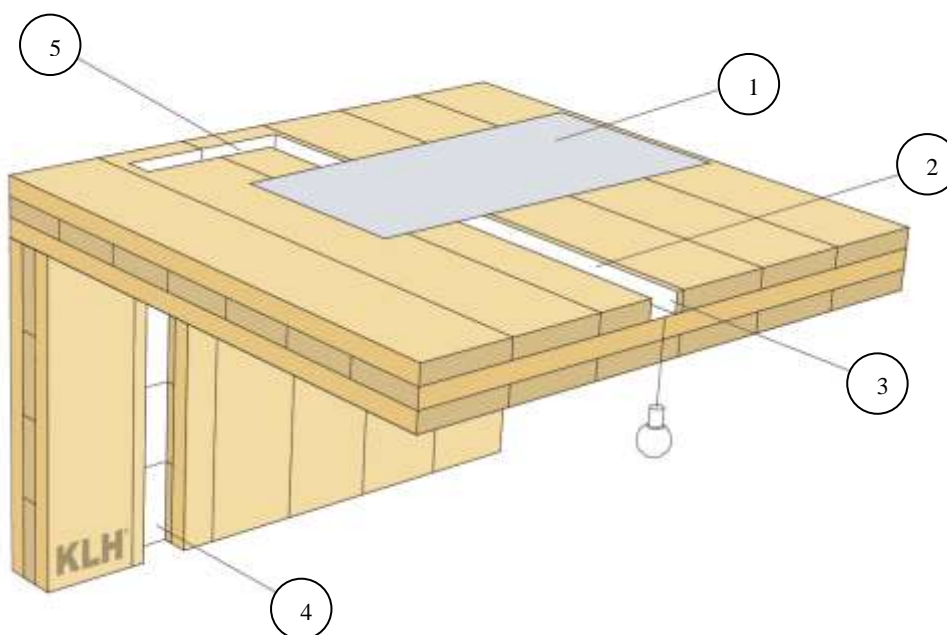


Figura 37 - Ranhuras em beiral.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Posicionar a barreira de vapor acima da ranhura e dos tubos. A perfuração deve ser evitada.
- 2 - A disposição da ranhura na área de superfície é possível apenas na direção de painéis de cobertura.
- 3 - Para os elementos do telhado na superfície visível, corte um recesso na superfície para os cabos, geralmente apenas necessário para a rede de iluminação (também adequado para paredes externas com superfície visível no interior).
- 4 - Ranhuras verticais apenas na camada superior e na direção da fibra dos painéis da cobertura. Verificar a estática na área das portas e janelas.
- 5 - Na superfície de apoio, é possível a utilização de ranhuras transversais curtas na maioria dos casos.

3.14.2 Ranhuras e furos nas superfícies de madeira visíveis e não visíveis

Aqui é apresentado como executar ranhuras e furos nos elementos de paredes, que podem ser visíveis ou não visíveis, conforme mostra a Figura 38 da publicação da KLH Massivholz GMBH (2012).

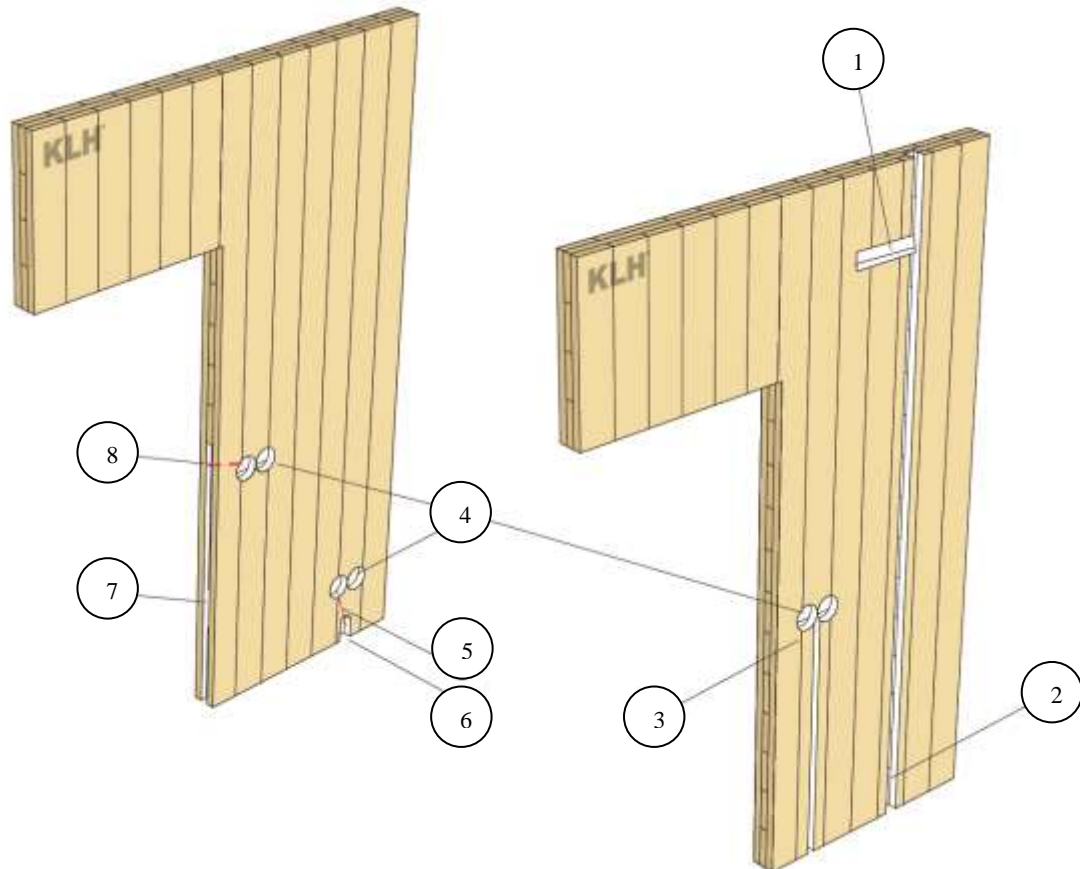


Figura 38 - Ranhuras e furos.
Fonte: KLH Massivholz GMBH (2012).

- 1 - Ranhuras laterais, possíveis apenas em casos limitados. Verificar a estática.
- 2 - Ranhuras verticais - só na direção da camada de cobertura.
- 3 - Distância mínima até a borda de 10 cm.
- 4 - Buracos para tomadas e interruptores - a distância da borda dos orifícios do soquete depende da carga do elemento da parede.
- 5 - Buracos nas extremidades das paredes (na parte inferior).
- 6 - Pequenos nichos/furos na superfície para roteamento de cabos (na estrutura do piso).
- 7 - Ranhura na ombreira da abertura da porta.
- 8 - Perfuração a partir da ombreira até os orifícios para os interruptores.

CAPÍTULO 4 - CONCLUSÃO

A principal desvantagem, em um primeiro momento, pode ser o custo que segundo, o fornecedor KLH, seria de 30% a mais. Entretanto quando levado em consideração as vantagens apresentadas, por exemplo, estrutura sólida, redução do tempo da obra, emissão de gás carbônico, uso de água, redução do desperdício de materiais e do impacto ao ambiente, além de ser produzido a partir de um recurso sustentável, tais fatores amenizariam os custos mais elevados.

O receio a incêndios por parte de futuros consumidores também fica bastante atenuado, visto que as conexões dos elementos são resistentes aos gases e a prova de fumaça e impedem a propagação do fogo, benefícios que nem todos os materiais podem reivindicar.

No Brasil, a empresa Crosslam é a precursora da tecnologia em MLCC, iniciando sua fabricação há 5 anos no país, apresenta uma taxa de crescimento de dois dígitos percentuais ao ano, mesmo levando em conta a enorme crise que se abateu sobre a construção civil. O que vem corroborar para que a utilização de estruturas de MLCC cresçam no Brasil, assim como tem sido em todos os países onde é produzido, visto todos os pontos que já foram citados nesse trabalho, e traz uma condição inédita em nosso país, alívio de sofrimento humano e grande diminuição de riscos a vida no canteiro de obra.

Pode-se concluir, desse modo, que as vantagens e a segurança do MLCC são consideráveis, minuciosamente analisadas e estudadas fora do país e começando seu caminho no Brasil. É preciso motivar a implantação e o interesse desse novo método construtivo por parte dos engenheiros, arquitetos, construtores e, sobretudo, consumidores cujos vínculos a métodos tradicionais estão arraigados ao extremo. Necessita de investimentos, desenvolvimento de normas e padrões específicos para o Brasil, bem como aceitação por parte das instituições financeiras.

O presente trabalho pretendeu, de modo bastante modesto, apresentar um método relativamente novo no Brasil, mas muito promissor, que precisa vencer barreiras e pensamentos que, às vezes, são norteados não pelo bem comum, mas sim pelo interesse individual.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WOOD COUNCIL. awc.org. **Cross Laminated Timber (CLT) Gains Code Approval – New Opportunities for Wood in Non-Residential Structures**, 2012.

Disponível em: <<http://www.awc.org/news/2012/11/12/cross-laminated-timber-clt-gains-code-approval-new-opportunities-for-wood-in-non-residential-structures>>. Acesso em: 15 Agosto 2017.

ANSI/APA, **STANDARD FOR PERFORMANCE-RATED CROSS - LAMINATED TIMBER PGR 320-2012**. TACOMA, WA: ANSI/APA, 2012. 29p.

ARCH MEDIA GROUP LLC. archtoolbox.com. **R-values of Insulation and Other Building Materials**, 2017. Disponível em: <<https://www.archtoolbox.com/materials-systems/thermal-moisture-protection/rvalues.html>>. Acesso em: 15 Agosto 2017.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM E119**: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials. 1ª. ed. West Conshohocken: [s.n.], 2016.

BINDERHOLZ & BRITISH GYPSUM SAINT GOBAIN **Solid Timber Manual**. FUGEN: Binderholz & British Gypsum Saint Gobain, 2010. 207p. Disponível em: <http://www.binderholz.com/fileadmin/PDF/Services_Kontakt/Videos_Download/Prospekte/solid_timber_manual.pdf> Acesso em: 15 nov. 2016

BINDERHOLZ GMBH. Binderholz GmbH. **Edifício construído em MLCC**, 2017.

Disponível em:

<http://www.binderholz.com/fileadmin/_processed_/csm_BZ7T7402_date121116_Pflu_egl_e11da92660.jpg>. Acesso em: 11 Março 2017.

BRANDNER, R. **Production and Technology of Cross Laminated Timber (CLT): A state-of-the-art Report** . 2013. 33f. Monografia (Tecnologia em Engenharia) - Institute of Timber Engineering and Wood Technology, Graz, 2013.

CAGNON, S.; CREPELL, P. **Cross Laminated Timber: a Primer**. Special Publication 52. ed. British Columbia: FPInnovations, 2010. 32p.

CLT HOUSE LLC. CLT House LLC. **Modelo de entalhe em finger joint**, 2016. Disponível em: <<http://clthouse.com/wp-content/uploads/2015/10/swp.jpg>>. Acesso em: 15 Novembro 2016.

DOUGLAS, B.; KARACABEYLI, E. **CLT HANDBOOK**. U. S.. ed. POINTE-CLAIRE:FPInovations and Binational Softwood Lumber Council, 2013. 572p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13501-1:2007+A1:2009 – Fire Classification of Construction Products and Building Elements**. European Committee for Standardization. Brussels, p. 56. 2009.

GREEN, M. C.; KARSH, J. E. **THE CASE FOR TALL WOOD BUILDINGS**. BRITISH COLUMBIA: MGB ARCHITECTURE + DESIGN, 2012. 240p. Disponível em: <<http://www.cwc.ca/documents/Industry/Tall%20Wood%20Buildings%20-%20Final%20Report.pdf>> Acesso em: 15 nov. 2016

KLH MASSIVHOLZ GMBH **Component Catalogue for Building your own Home**. 1°. ed. Teufenbach-Katsch: KLH Massivholz GmbH, 2012. 28p.

LEDINEK ENGINEERING D.O.O. ledinek.com. **Processo de colagem das lamelas dos painéis de MLCC**, 2017a. Disponível em: <<https://www.ledinek.com/generated/4-1000-1000-5/upload/06-engineered-timber/clt-lines/clt-riga/13glue-application- ledinek.jpg>>. Acesso em: 14 Abril 2017.

LEDINEK ENGINEERING D.O.O. ledinek.com. **Processo de prensagem dos painéis de MLCC**, 2017b. Disponível em: <<https://www.ledinek.com/generated/4-1000-1000-5/upload/06-engineered-timber/clt-lines/clt-riga/14clt-x-press-ledinek.jpg>>. Acesso em: 14 Abril 2017.

NATURALLY: WOOD. naturallywood.com. **Cross-Laminated Timber in British Columbia**, 2012. Disponível em: <<https://www.naturallywood.com/sites/default/files/documents/resources/clt-and-dowling-residence.pdf>>. Acesso em: 14 Agosto 2017.

RESEARCHGATE GMBH. researchgate.net. **Painel de MLCC**, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/283648983_fig1_Fig-2-Cross-laminated-timber-CLT-panels>. Acesso em: 11 Março 2017.

STRUCTURE. structuremag.org. **Película de carbono**, 2013. Disponível em: <<http://www.structuremag.org/wp-content/uploads/1113-sp-1.jpg>>. Acesso em: 31 out. 2017.

THE ARCHITECT'S NEWSPAPER, LLC. archpaper.com. **Projeto de prédio em MLCC com 12 andares**, 2017. Disponível em: <<https://archpaper.com/2017/06/framework-portland-timber-tower/#gallery-0-slide-0>>. Acesso em: 17 Julho 2017.

THE ARCHITECT'S NEWSPAPER, LLC. archpaper.com. **Projeto estrutural de prédio em MLCC com 12 andares**, 2017. Disponível em: <<https://archpaper.com/2017/06/framework-portland-timber-tower/#gallery-0-slide-4>>. Acesso em: 17 Julho 2017.

TISEM, LDA. Tisem. **Painéis de MLCC - Conceito**, 2017. Disponível em: <<http://www.tisem.pt/iisem/conceito>>. Acesso em: 29 Maio 2017.