



UNIVERSIDADE
LUSÓFONA

Centro Universitário do Porto
Faculdade de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação
Mestrado Integrado em Arquitetura

Reflexão Sobre o Uso de CLT e GLT na Arquitetura

Dissertação apresentada a provas públicas para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura, orientada pelo Professor Doutor António Sérgio Koch

Mariana Ribeiro Carvalho, nº 21901864

Porto, 2024



U N I V E R S I D A D E
LUSÓFONA

Centro Universitário do Porto
Faculdade de Comunicação, Arquitetura, Artes e Tecnologias da Informação
Mestrado Integrado em Arquitetura

Reflexão Sobre o Uso de CLT e GLT na Arquitetura

Dissertação defendida em provas públicas na Universidade Lusófona, Centro
Universitário do Porto no dia 12 de novembro, perante o júri, nomeado pelo
Despacho de Nomeação

Nº 972/2024, com a seguinte composição:

Presidente: Prof. Doutor Pedro Cândido Almeida D'Eça Ramalho;

Arguente: Profª Doutora Isabel Clara Neves da Rocha Marques;

Orientador: António Sérgio Koch de Araújo e Silva;

Mariana Ribeiro Carvalho, nº 21901864

Porto, 2024

É autorizada a reprodução integral desta tese/dissertação apenas para efeitos de investigação, mediante declaração escrita do interessado, que a tal se compromete.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor António Sérgio Koch de Araújo e Silva pela tranquilidade, incentivo e rigor imposto ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho no qual foi fundamental para a concretização desta dissertação.

Por último saliento todo o carinho e confiança proporcionada pela minha família e amigos ao longo deste percurso.

Resumo

Esta dissertação de mestrado aborda a temática, “Reflexão Sobre o Uso de CLT e GLT na Arquitetura”, e pretende expor as diferentes formas de aplicação destes materiais nas construções atuais.

Serão apresentadas as propriedades da madeira lamelada, a sua origem e definição como também, a sua flexibilidade como sistema construtivo pré-fabricado. Posteriormente será exposto o processo de fabrico, as infraestruturas e os acabamentos, as ligações entre o CLT e GLT com outros sistemas construtivos, conforto térmico e acústico e a segurança contra incêndios. Para auxiliar o estudo da temática, foram escolhidos e analisados três casos de estudo, um Centro Equestre, uma Escola e uma Piscina.

O projeto do Complexo Desportivo desenvolvido na Unidade Curricular de Projeto V, teve com base toda a presente dissertação com principal enfoque nas três referências arquitetónicas que, serviram como exemplo de casos práticos de aplicação destes materiais. Atualmente a madeira lamelada apresenta um elevado potencial construtivo devido à sua evolução tecnológica, visível na flexibilidade de aplicação da mesma.

Palavras-Chave: CLT, GLT, Propriedade da madeira lamelada, Pré-fabricado, Evolução tecnológica, Complexo Desportivo.

Abstract

This master's thesis addresses the theme, “Reflection on the Use of CLT and GLT in Architecture” and aims to expose the different ways of applying these materials in current constructions.

The properties of laminated wood will be presented, its origin and definition as well as its flexibility as a prefabricated construction system. Subsequently, the manufacturing process, infrastructure and finishes, connections between CLT and GLT with other construction systems, thermal and acoustic comfort and fire safety will be exposed. To help study the topic, three case studies were chosen and analyzed: an Equestrian Center, a School and a Swimming Pool.

The Sports Complex project developed in Project V Curricular Unit was based on this entire dissertation with the focus on the three architectural references that served as an example of practical cases of application of these materials. Currently, laminated wood has a high construction potential due to its technological evolution, visible in its application flexibility.

Keywords: CLT, GLT, Laminated wood property, Prefabricated, Technological evolution, Sports Complex.

Siglas e Abreviaturas

CLT- Cross Laminated Timber.

GLT- Glued Laminated Timber.

UTA- Unidade de Tratamento de Ar.

PNAM- Prémio Nacional de Arquitetura em Madeira.

RCCTE- Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

AIMMP- Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal.

Índice

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Siglas e Abreviaturas	IV
Índice	V
Índice de Quadros	VI
Índice de Figuras	VII
Capítulo I	1
INTRODUÇÃO METEDOLÓGICA.....	1
1.1. Contextualização.....	2
1.2. Justificação da Problemática.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Estado da Arte.....	3
1.5. Metodologia Adotada.....	4
1.6. Estrutura do Trabalho.....	5
Capítulo II	7
SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA PRÉ-FABRICADA CLT E GLT.....	7
2.1. A Madeira como material Construtivo.....	8
2.2. CLT e GLT – Conceito e Definição dos materiais.....	10
2.3. Vantagens e Desvantagens dos Sistemas Pré-Fabricados.....	16
2.4. Análise Económica e Impacto Ambiental.....	18
Capítulo III	21
DA CONCEÇÃO À EXECUÇÃO.....	21
3.1. Processos de Fabrico.....	22
3.2. Acabamentos e Infraestruturas.....	27
3.3. Ligações entre Elementos e outros Sistemas Construtivos.....	32
3.4. Segurança contra Incêndios.....	40
3.5. Conforto Térmico e Acústico.....	42
Capítulo IV	44
ANÁLISE DE REFERÊNCIAS ARQUITETÓNICAS.....	44
4.1. Centro Equestre.....	45
4.2. Wood Innovation and Design Centre.....	53
4.3. Freeman’s School Swimming Pool.....	58
Capítulo V	64
ANÁLISE COMPARATIVA.....	65
Capítulo VI	67
REFLEXÃO SOBRE O PROJETO.....	68
Capítulo VII	79
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
Referências Bibliográficas	82
Webgrafia	84

Índice de Quadros

Quadro 1 – Análise e Comparação dos casos de estudo.....	66
--	----

Índice de Figuras

Figura 1 - Templo Horyu-ji.....	10
Fonte: https://depositphotos.com/br/photo/horyu-ji-temple-in-japan-69656577.html	
Figura 2 – Pannel de CLT.....	13
Fonte: https://www.jular.pt/produtos/placas-e-paineis/paineis-clt	
Figura 3 – Esquema lamelas de CLT.....	13
Fonte: Buck, Dietrich, Alice Wang, Olle Hangman, & Anders Gustafsson. 2016. Conventional assembly layup of cross-laminated timber (CLT 90o). Trabalho apresentado na World Conference on Timber Engineering.	
Figura 4 – Estrutura de GLT.....	14
Fonte: https://www.jular.pt/produtos/placas-e-paineis/paineis-clt	
Figura 5 – Esquema de lamelas GLT.....	14
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-da-formacao-de-uma-viga-estrutural-de-MLC_fig1_257355390	
Figura 6 – Configuração dos painéis da empresa KLH Massivohlz.....	14
Fonte: https://www.klh.at/wp-content/uploads/2020/06/klh-standard-panel-types.pdf	
Figura 7 – Axonometria posicionamento e aglomeração de lamelas em GLT.....	15
Fonte: https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/glulam	
Figura 8 - Custos unitários associados aos componentes estruturais de um edifício, segundo diferentes materiais estruturais para diferentes números de pisos (Crespell e Gaston, 2011).....	19
Fonte: Crespell P. & Gaston C., 2011. “The Value Proposition for Cross-Laminated Timber”. FPIInnovation.	
Figura 9 - Esquema do reaproveitamento da madeira.....	20
Fonte: https://continuingeducation.bnpmmedia.com/courses/think-wood/how-to-calculate-the-wood-carbon-footprint-of-a-building/3/	
Figura 10 - Gráfico resultante do estudo do impacto ambiental entre projetos de madeira, aço e betão.....	20
Fonte: Canadian Wood Council. (2004). Energy and the Environment in Residential Construction (Vol. No 1, Sustainable Building Series).	
Figura 11 - Processo fabrico CLT e GLT.....	25
Fonte: https://pt.pinterest.com/pin/853291460639061304/	
Figura 12 – Preparação das lamelas.....	26
Fonte: https://www.klhuk.com/structural/	
Figura 13 – Execução de “ <i>finger-joints</i> ”.....	26
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Edgewise-finger-joint-left-flatwise-finger-joint-right_fig1_261884030	

Figura 14 – Processo de colagem.....	26
Fonte: https://www.klhuk.com/cross-laminated-timber/	
Figura 15 – Prensagem e recorte das peças.....	26
Fonte: https://www.klhuk.com/cross-laminated-timber/	
Figura 16 – Categoria “qualidade moradia”	30
Fonte: https://www.klh.at/en/panel-types-surfaces-technical-details/	
Figura 17 – Categoria “qualidade industrial”	30
Fonte: https://www.klh.at/en/panel-types-surfaces-technical-details/	
Figura 18 – Categoria “qualidade invisível”	30
Fonte: https://www.klh.at/en/panel-types-surfaces-technical-details/	
Figura 19 - Revestimento "ETICS" fachada em CLT.....	31
Fonte: https://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2021/10/2021.11.10_uminho_tisem.pdf	
Figura 20 - Passagem vertical de tubagem elétrica.....	31
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 21 – Passagem vertical de infraestruturas.....	32
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 22 – Passagem horizontal de tubos elétricos.....	32
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 23 – Ligação parede de CLT à laje em betão.....	35
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 24 - Ligação paredes exteriores/interiores.....	36
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 25 - Ligação entre paredes exteriores.....	36
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 26 - Ligação de painéis de laje.....	37
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 27 - Ligação entre painéis de laje.....	37
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 28 - Ligação entre painéis de cobertura inclinada.....	37
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures	
Figura 29 - Ligação entre painéis de cobertura inclinada.	38
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 30 - Ligação entre painéis de cobertura plana.	38
Fonte: KLH Massivholz GmbH. 2012b. Component Catalogue for Cross Laminated Timber Structures.	
Figura 31 - Ligação pilar em GLT à laje a partir de: placa metálica embutida, cantoneira, peça de ferro embutida no pilar.	38
Fonte: Frobel, Johan. (2024). The Glulam Handbook, Volume 1. Swedish Wood.	

Figura 32 - Ligação entre viga e ligar, a partir de: placa metálica visível, placa metálica embutida.	39
Fonte: Frobel, Johan. (2024). The Glulam Handbook, Volume 1. Swedish Wood.	
Figura 33 - Ligação entre peças de viga através de placa metálica visível e invisível.	39
Fonte: Frobel, Johan. (2024). The Glulam Handbook, Volume 1. Swedish Wood.	
Figura 34 - Ligação entre vigas, a partir de: cantoneira metálica e parafusos de carga axial ocultos.	39
Fonte: Frobel, Johan. (2024). The Glulam Handbook, Volume 1. Swedish Wood.	
Figura 35 - Resistência ao fogo madeira lamelada.	41
Fonte: Structure Magazine. 2019. Crosslam timber / CLT - Fire resistance and rating., Disponível em: http://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-fire-resistance-and-rating/	
Figura 36 - Camada de carvão criada à volta da madeira lamelada para proteção da restante secção.	41
Fonte: Sarma, Kapilan. 2017. Quantitive Fire Engineering Assessment Methods for Mass Timber. Trabalho apresentado na Fire Australia Conference & Tradeshow.	
Figura 37 - Transmissão térmica.	43
Fonte: Costa, Ana Alexandra P. (2013). Construção de Edifícios com Cross Laminated Timber (CLT). Faculdade Engenharia da Universidade do Porto.	
Figura 38 - Fachada ventilada, parede em CLT.	43
Fonte: Pagnoncelli, Luigi, & Fabian Morales. 2016. Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation. Trabalho apresentado na EuroRegio 2016, Porto.	
Figura 39 - Pontes térmicas lineares.	43
Fonte: Costa, Ana Alexandra P. (2013). Construção de Edifícios com Cross Laminated Timber (CLT). Faculdade Engenharia da Universidade do Porto.	
Figura 40 - Implantação.	48
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 41 - Planta Edifício Principal.	48
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 42 - Planta Piscina.	49
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 43 - Planta café.	49
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 44 - Corte Edifício Principal-Mezanino.	50
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 45 - Corte Edifício Principal.	50
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 46 - Corte Edifício Principal.	50
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	

Figura 47 - Corte pela Piscina.	50
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 48 - Detalhe Construtivo.	50
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 49 – Detalhe Construtivo.	51
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 50 - Fotografia do Edifício.....	51
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 51 - Fotografia do Edifício.....	51
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 52 - Fotografia do Edifício.....	52
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 53 - Fotografia do Edifício.....	52
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 54 - Fotografia do Edifício.....	52
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/762752/centro-equestre-carlos-castanheira-and-clara-bastai/54dd7ee9e58ece1207000133-floor-plan-main-building?next_project=no	
Figura 55 - Fotografia do Edifício.....	55
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 56 - Planta tipo pisos.	56
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 57 - Modelo 3D constituição do edifício.	56
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 58 - Detalhe Construtivo.	57
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 59 - Fotografia Interior do Edifício.	57
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 60 - Fotografia Interior do Edifício.	57
Fonte: https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1	
Figura 61 – Implantação.	60
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 62 - Fotografia do Edifício.	60
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 63 - Planta Piso -1.	61
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	

Figura 64 - Planta Piso 0.	61
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 65 - Corte Edifício.	61
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 66 - Modelo 3D Estrutura.	61
Fonte: https://www.eocengineers.com/projects/city-of-london-freemens-school-swimming-pool-299/	
Figura 67 - Detalhe Construtivo Alçado/Corte.	62
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 68 - Fotografia Nave da Piscina.	62
Fonte: https://www.archdaily.com/885514/freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown/5a333290b22e3853e2000048-freemens-school-swimming-pool-hawkins-brown-curtain-walling?next_project=no	
Figura 69 - Detalhe Construtivo Vigas.	63
Fonte: https://architizer.com/blog/practice/details/freemens-school-pool/	
Figura 70 - Fotografia Interior.	63
Fonte: https://architizer.com/blog/practice/details/freemens-school-pool/	
Figura 71 - Fotografia bancos, insuflação junto ao caixilho.	63
Fonte: https://architizer.com/blog/practice/details/freemens-school-pool/	
Figura 72 – Implantação e Arranjos Exteriores.....	70
Fonte: Autor.	
Figura 73 – Quadro de Áreas	71
Fonte: Autor.	
Figura 74: Fotografias da Área de Intervenção.....	73
Fonte: Autor.	
Figura 75: Fotografias da Área de Intervenção.....	74
Fonte: Autor.	
Figura 76: Modelo 3D.	74
Fonte: Autor.	
Figura 77: Corte Longitudinal pela Piscina Exterior.	74
Fonte: Autor.	
Figura 78: Corte Transversal.....	74
Fonte: Autor.	
Figura 79: Planta Piso 0, Cota 19.6.	75
Fonte: Autor.	
Figura 80: Planta Piso -1, Cota 16.0.	75
Fonte: Autor.	
Figura 81: Corte Construtivo.....	75
Fonte: Autor.	
Figura 82: Modelo 3D e Axonometria com Corte Construtivo.....	76
Fonte: Autor.	
Figura 83: Implantação Pré-Existências.....	76
Fonte: Autor.	

Figura 84: Planta Piso 0, Cota 6.5.	76
Fonte: Autor.	
Figura 85: Planta Piso 1, Cota 9.7.	76
Fonte: Autor.	
Figura 86: Corte Transversal.....	77
Fonte: Autor.	
Figura 87: Corte Longitudinal.....	77
Fonte: Autor.	
Figura 88: Maquete Complexo Desportivo.....	77
Fonte: Autor.	
Figura 89: Maquete Complexo Desportivo.....	78
Fonte: Autor.	
Figura 90: Maquete Corte Construtivo Complexo Desportivo.....	78
Fonte: Autor.	
Figura 91: Maquete Corte Construtivo Complexo Desportivo.....	78
Fonte: Autor.	

CAPÍTULO I
INTRODUÇÃO METODOLÓGICA

1.1 Contextualização.

Esta dissertação de mestrado propõe uma reflexão sobre o uso do Cross Laminated Timber (CLT) e Glued Laminated Timber (GLT) na arquitetura. De forma que haja uma melhor compreensão do tema apresentado, irá ser abordada a definição destes dois sistemas construtivos e, posteriormente, serão apresentadas características dos procedimentos de execução e aplicação.

A evolução industrial, presente no século XX, desenvolve tecnologias que permitiram identificar características de determinado elemento conjugando-as numa produção em série de larga escala. Os sistemas construtivos pré-fabricados surgem na mesma altura, quando a construção convencional já não conseguia dar resposta às necessidades da população. Esta evolução trouxe uma melhor gestão de recursos, maior rigor na conceção e execução de projeto.

Do ponto de vista construtivo, a madeira é um material que possui características de fabrico que permitem uma construção sistematizada. Deste modo, o crescimento da pré-fabricação neste material aportou vários benefícios. Assim e por um lado, a evolução dos processos de fabrico permitiram ao arquiteto conhecimento de forma a contornar as restrições dimensionais, desta vez, com a possibilidade de projetar estruturas de maior envergadura, como também, possibilitou a evolução no desenvolvimento físico dos edifícios seja em relação à sua segurança, seja também relativamente à durabilidade do material.

O Cross Laminated Timber e o Glued Laminated Timber são utilizações diferentes do mesmo material - a madeira - que tiram partido dos benefícios associados ao processo de pré-fabricação que se projetam na rapidez e rigor da conceção do edifício.

1.2 Justificação da Problemática.

O tema abordado na presente dissertação de mestrado, surgiu no decorrer da Unidade Curricular de Projeto V onde se propõe inserir um Complexo Desportivo no terreno da Antiga Central da Fábrica do Gás da Foz do Douro.

Para este projeto é proposta a construção nos sistemas pré-fabricados de madeira, CLT e GLT, com o intuito de marcar um afastamento relativamente à arquitetura do ferro, século XX, existente nas ruínas pré-existentes. Na prossecução desse objetivo, a conceção do projeto passou pela criação de um grande vão transparente, marcado por pilares e vigas em madeira lamelada colada que suportam a cobertura em CLT do edifício.

Às ruínas da antiga fábrica existente no terreno foi lhes concebido o programa de comércio e restauração, sendo que a reabilitação parcial destes edifícios em tijolo e ferro foi reformulada a partir da execução de uma laje em aço leve. Foi ponderada a execução deste elemento construtivo em madeira lamelada colada cruzada, mas assim não sucedeu, optando-se por respeitar os materiais originais, não sendo a madeira um deles.

1.3 Objetivos.

A presente dissertação visa a concretização de objetivos académicos e pessoais, gerais e específicos, que irão sendo aprofundados no decorrer do trabalho.

A nível académico pretende-se dar a conhecer as potencialidades do Cross Laminated Timber e do Glued Laminated Timber no mundo da construção. Inicialmente será abordada a madeira enquanto matéria e as suas propriedades funcionais, com enfoque na pré-fabricação dos sistemas construtivos em estudo. Seguir-se-á uma caracterização do conceito e fabrico do CLT e GLT, que, ao longo deste trabalho, se assemelham na maioria dos aspetos.

O CLT é um material direcionado para a conceção de paredes e lajes, enquanto, o GLT integra a estrutura, possibilitando a execução de edifícios com grandes vãos. Estes materiais estão normalmente aliados a sistemas construtivos tradicionais como o betão e o aço, no entanto, aguarda-se que, através dos avanços tecnológicos possam tornar-se independentes.

Nos objetivos pessoais, propõe-se a ampliação de conhecimentos relativamente a estes dois sistemas construtivos, refletindo sobre as principais vantagens e limitações destes materiais. Pretende-se, por fim, que a consolidação dos objetivos descritos até então contribua para o futuro de uma carreira profissional.

Os resultados desta análise serão aplicados e refletidos na proposta da Unidade Curricular de Projeto V, referente ao desenvolvimento de um Complexo Desportivo e Restaurante na Rua do Ouro, no Porto.

1.4 Estado de Arte.

Atualmente, devido às plataformas de informação existentes, encontra-se disponibilizada uma vasta quantidade de dados relativos ao conceito do CLT e GLT e às diferentes formas de aplicação dos mesmos, principalmente em programas de carácter habitacional.

Embora ambos os materiais tenham surgido no século XX, o GLT foi desenvolvido primeiro, já tendo sido utilizado por arquitetos Pritzker tais como, Frank Ghery e Kazuyo Sejima. O interesse pela madeira lamelada colada incentivou a publicação de diversos livros e artigos, onde foi possível perceber mais acerca da composição do material e interpretar onde pode ser empregue com sucesso.

Verificou-se a existência de vários manuais da autoria das principais empresas austríacas produtoras destes materiais, “*KLW Mssivohls*” e “*Binderholz*”. A maioria dos artigos consultados encontra-se em inglês e alemão, excetuando algumas dissertações de mestrado em engenharia

escritas em português.

Neste ponto do trabalho concede-se especial importância a dois artigos, “*The Glulam Handbook, facts about glulam*”, da autoria da editora Dwedish Wood e “CLT HandBook”, da autoria de Brad Douglas e Erol Karacabeyli.

1.5 Metodologia Adotada.

A metodologia adotada para a realização da presente dissertação, foi dividida em cinco fases, incluindo a definição de estratégias de pesquisa, recolha de toda a informação encontrada, análise e seleção da mesma, organização e exposição do conteúdo mais pertinente, de acordo com os objetivos determinados pela autora. Por fim, desenvolveu-se a análise de casos de estudos e foi feita uma reflexão apreciativa do trabalho realizado em Projeto 5.

Em primeiro lugar, antes de se iniciar a exposição do conteúdo teórico encontrado, verificou-se se o mesmo era válido e se apresentava informação suficiente e viável para o desenvolvimento desta dissertação.

As ferramentas definidas para pesquisar e recolher toda a informação pertinente incluindo, revistas, artigos científicos, dissertações de mestrado, livros e plataformas de pesquisa digitais.

Foram estudadas inúmeras obras que serviram para desenvolver o tema da presente dissertação em simultâneo com o exercício de projeto. Deste conjunto foram selecionados três projetos que, abordados como casos de estudo, e que, se consideram representativas para os sistemas construtivos em análise.

A organização e exposição do conteúdo teórico, seguiu desde o início a estrutura adotada pelo autor que melhor complementa o tema e alcança o objetivo de expor o conteúdo de forma íntegra e objetiva.

De seguida, foi analisada a proposta para a unidade curricular de Projeto 5 que, fundamenta esta dissertação. Finalmente foi redigida uma análise própria relativa aos conhecimentos adquiridos no desenvolvimento do presente trabalho.

1.6 Estrutura do Trabalho.

Com a finalidade de uma esquematização coerente e melhor compreensão deste trabalho, a estrutura da presente dissertação organiza-se em sete capítulos.

O Capítulo I introduz o tema do trabalho, a justificação da problemática abordada, os objetivos em alcance, a metodologia que o autor achou adequada para o desenvolvimento do trabalho, assim como a sistematização da estrutura adotada para organização da informação.

No Capítulo II é feita uma contextualização histórica sobre a madeira e alguns sistemas pré-fabricados, direcionando o estudo para o conceito e definição do Cross Laminated Timber e do Glued Laminated Timber. Na continuação é feita uma análise das vantagens e limitações destes sistemas construtivos, como também uma reflexão sobre o impacto ambiental e um estudo económico. O Capítulo III apresenta um estudo técnico sobre estes dois materiais e engloba, desta forma, o processo de fabrico, a aplicação em obra, os acabamentos e a passagem de infraestruturas, a ligação entre elementos de madeira e outros sistemas construtivos, a segurança contra incêndios e o conforto térmico e acústico.

No Capítulo IV foi feita uma análise individual de três referências que se consideraram pertinentes na execução do trabalho, nas quais três exemplificam elementos em Glued Laminated Timber e duas em Cross Laminated Timber. Foram escolhidos edifícios com semelhanças estruturais e programáticas com o exercício de Projeto 5, de modo que fosse possível sustentar uma comparação com exemplos construídos e refletir sobre o exercício em curso.

O Capítulo V é composto pela análise comparativa entre os três casos de estudo descritos no capítulo IV e o exercício de Projeto V, Complexo Desportivo e Restaurante desenvolvido no terreno da antiga Fábrica de Gás, no Porto.

O Capítulo VI analisa o caso prático do Complexo Desportivo com Restaurante desenvolvido na Unidade Curricular de Projeto V. Neste capítulo é feito um enquadramento da relação das pré-existências com o edificado e conseqüentemente com o local onde estão inseridas. Segue-se uma reflexão da escolha da materialidade, CLT e GLT, para o projeto em questão.

No Capítulo VII, são expostas as considerações finais para este trabalho, assim como uma conclusão sobre toda a informação analisada e consolidada ao longo do seu desenvolvimento.

CAPÍTULO II
Sistemas construtivos em madeira pré-fabricada
CLT e GLT.

2.1 A Madeira como material Construtivo.

A madeira é um material orgânico utilizado pelo homem desde o início da sua existência, e o templo “*Horyu-ji*”, construído no ano 607 d.C. no Japão, na cidade de Nara, é considerado o edifício mais antigo construído neste material. A prática de utilização da madeira como material construtivo predominou até ao início do sec. XX. Posteriormente foi ultrapassada pelo aparecimento do surgimento do ferro e do betão armado, que se tornaram os materiais mais aptos a possibilitar o acompanhamento das exigências do desenvolvimento industrial. E cresceu a “arquitetura do ferro”¹, profundamente influenciada pela revolução industrial.

Sem embargo, nos países do norte da Europa, manteve-se a tradição do recurso à madeira como principal material construtivo.

Desenvolveu-se a construção industrializada baseada na sistematização de produção das grandes componentes do edifício, tirando proveito dos processos de montagem mecânicos que, por sua vez, reduzem a necessidade de mão de obra, aumentam a rapidez de montagem e o rigor na execução do projeto.

Neste quadro de agilização e aumento da rapidez de procedimentos, a construção pré-fabricada em madeira veio colmatar algumas desvantagens da utilização de madeira maciça, nomeadamente a anisotropia, e possibilitou o incremento das vantagens deste sistema construtivo.

“Muito se tem discutido no mundo da construção sobre a definição de industrialização. Porém, não existe mais do que uma: em qualquer lado a industrialização é a utilização de tecnologias que substituem a habilidade do artesão pelo uso da máquina” (Blachère 1977, 9).

A madeira lamelada, “*engineered wood*”, surgiu na Alemanha, pelo marceneiro Otto Karl Freidrich Hetzer. O norte da Europa caracteriza-se por ser detentor de um vasto conhecimento no que diz respeito à

¹ A arquitetura do ferro refere-se a um movimento arquitetónico que se desenvolveu durante o século XIX e está ligado à Revolução Industrial, um período de grandes avanços tecnológicos proporcionando avanços significativos na produção e uso de ferro.

construção em madeira, devido à sua utilização construtiva ao longo da história. Em 1901 é realizada a primeira patente da madeira lamelada colada, GLT, que, anos mais tarde, foi aplicada na indústria aeronáutica na 2ª Guerra Mundial, desde então e com o constante aperfeiçoamento e colmatação de lacunas, este material tornou-se uma alternativa credível face ao aço e ao betão.

CLT, também conhecido como madeira lamelada colada cruzada, X-lam, e Cross Lam, foi criado em Lausanne, na Suíça, em 1990. É muito importante de salientar que foi desenvolvido, em 1996, na Áustria, um estudo através da cooperação entre a empresa KLH, fundada por Heimo de Monte e Wolfgang Weirer, e a Graz University of Technology, que resultou no desenvolvimento acentuado das vertentes do CLT como um novo sistema construtivo.

É também importante referir que a evolução destes materiais no mercado advém da sua vertente sustentável, como também da aprovação técnica europeia (ETA) que se potenciou através da divulgação das suas potencialidades. Os países líderes no uso do CLT e GLT na construção são a Áustria, a Alemanha, a Suíça, a Suécia, a Noruega, o Reino Unido, a Austrália, o Canadá e os Estados Unidos. O CLT e o GLT vieram otimizar os recursos naturais abundantes no Norte da Europa, tais como o abeto e o pinho, como também responder ao problema de falta de mão de obra e possibilitar uma construção rápida.



Figura 1 Templo Horyu-ji.

2.2. CLT e GLT- Conceito e Definição dos materiais.

O CLT é um material composto por lamelados de madeira que se dispõem em estratos ortogonais de forma a originar um painel. É de salientar que cada camada é constituída por sucessivas lamelas paralelas entre si, e, perpendiculares às lamelas das camadas adjacentes. Cada painel deste material tem 3, 5 ou 7 camadas, sendo obrigatório que o número de camadas seja ímpar com o intuito de criar um eixo de simetria na camada central.

Para a produção de painéis de CLT é necessária madeira conífera, proveniente do pinheiro silvestre, abeto ou choupo; esta madeira, também conhecida por resinosa, é caracterizada por uma estrutura porosa

simplificada, anéis marcados e cor pálida uniforme. Para além das características mencionadas, esta madeira permite que os painéis sejam flexíveis e leves, como também estáveis, uma vez que o cruzamento das lamelas restringe os movimentos higroscópicos da madeira quando sujeita a variação de teor de água, sendo alvo de um controlo rigoroso por parte da fábrica, de modo a rondar os 12% de água por cada painel.

No seguimento da definição deste material, é necessário saber que os painéis de CLT podem servir como elemento de parede e laje, sendo que esta possibilidade de aplicação surge devido à distribuição bidirecional da carga exercida sobre cada elemento, com origem no sistema de composição de lamelas coladas cruzadas. Esta é, ademais, uma nova tecnologia que, veio combater alguns sistemas construtivos que transmitem o peso de forma unidirecional, como é o caso do aço.

Sendo certo que a dimensão de cada painel de CLT pode variar consoante o fornecedor, foram, para o efeito, consultadas as tabelas de duas empresas, sendo a primeira, de origem finlandesa, a “*Stora Enso*”. Relativamente à espessura do painel, esta varia entre 60 e 340 milímetros e tanto a largura (2,45 metros) como o comprimento (até 16,5 metros) estão condicionados em função das medidas máximas de transporte, traduzindo-se esta condicionante numa desvantagem deste sistema pré-fabricado.

Por sua vez, a fabricante austríaca “*KLH Massivohls*”, executa uma catalogação numérica para cada painel, quer estejamos a referir-nos a camadas ou a tipos. A classificação “*TT*” identifica painéis usados em elementos verticais (paredes), possuindo uma orientação perpendicular, em relação ao tipo “*TL*”, que corresponde a elementos horizontais (lajes e coberturas) onde a sua orientação é paralela face ao desenvolvimento do painel.

Existe uma exigência por parte das indústrias no comprimento mínimo para produção, 8.25 metros e uma largura standardizada (2,40; 2,50; 2,73 e 2,95 metros), com o objetivo de evitar desperdícios e facilitar o

transporte desde a fábrica até ao local de execução.

Relativamente ao GLT, estamos perante um material que consiste na colagem de três ou mais camadas empilhadas paralelamente umas às outras e coladas em todo o seu comprimento, possibilitando a criação de elementos estruturais, pilares e vigas, de grandes dimensões. Otto Hetzer aquando da conceção deste sistema construtivo conseguiu conceber-lhe uma volumetria curva, e, devido à rápida expansão do mesmo, integrou o Corredor Ferroviário da Alemanha, na Exposição Mundial de 1910, em Bruxelas.

À semelhança do CLT, para a execução destas peças GLT é aconselhável a utilização de madeira de abeto. A espessura de cada camada não deve exceder os 30 milímetros, e é necessário que haja uma devida atenção para que o pilar ou a viga em GLT não estejam expostos a humidades excessivas. No que respeita à largura e altura, as peças podem ser fabricadas com qualquer dimensão, tendo apenas em consideração a restrição do transporte; por outro lado, apesar das máquinas terem até 2,30 metros de largura, este sistema pode ser concebido por peças que são coladas, podendo alcançar o tamanho pretendido.

O CLT e o GLT utilizam a mesma madeira para a sua conceção, sendo esta uma das várias semelhanças destes sistemas construtivos. A madeira lamelada cruzada é utilizada para a execução de lajes, paredes e coberturas, pela sua capacidade de transmissão de carga bidirecional; por oposição, o GLT foi concebido para a execução de estruturas, lajes e vigas, pela transmissão unidirecional da carga, conclui-se que cada um dos materiais cumpre propósitos diferentes.

A pré-fabricação associada a estes sistemas construtivos acarreta várias exigências formais para que não haja erros técnicos no dimensionamento das peças, uma vez que estas saem de fábrica prontas e são montadas em obra.



Figura 2 Painel de CLT.

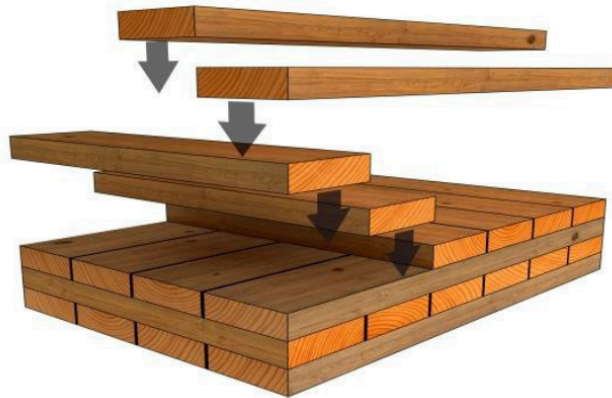


Figura 3 Esquema lamelas de CLT.



Figura 4 Estrutura de GLT.



Figura 5 Esquema lamelas GLT.

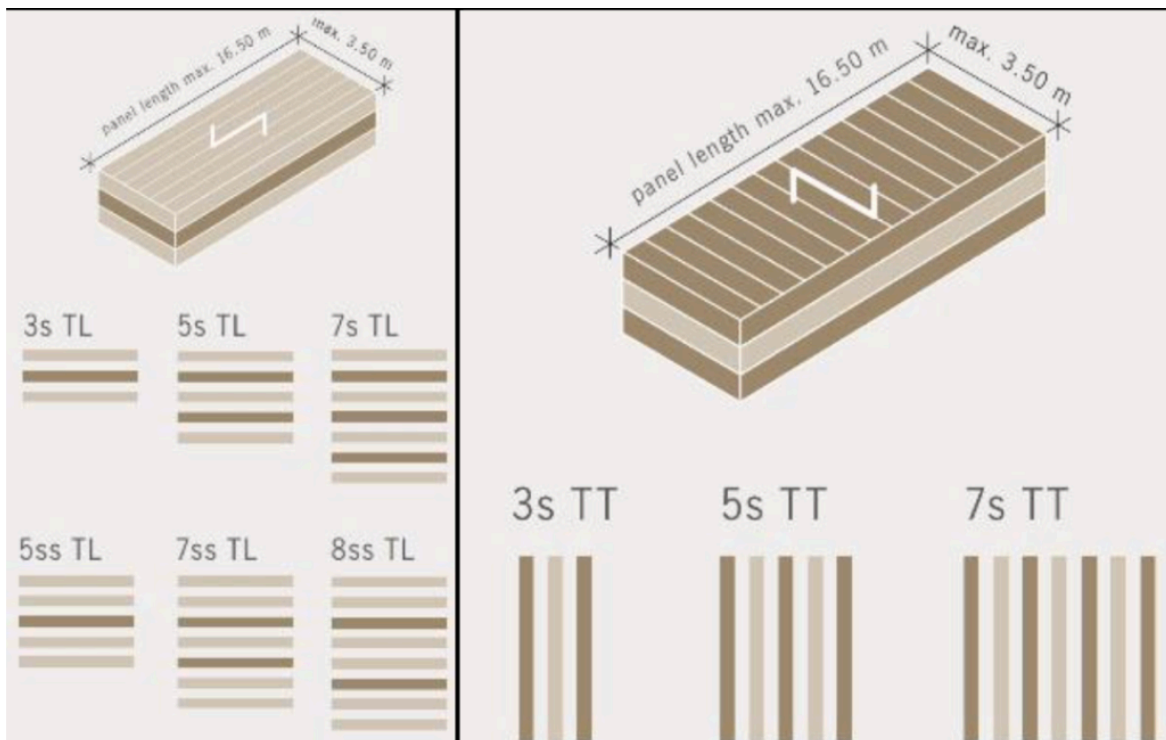


Figura 6 Configuração dos painéis da empresa KLH Massivholz.

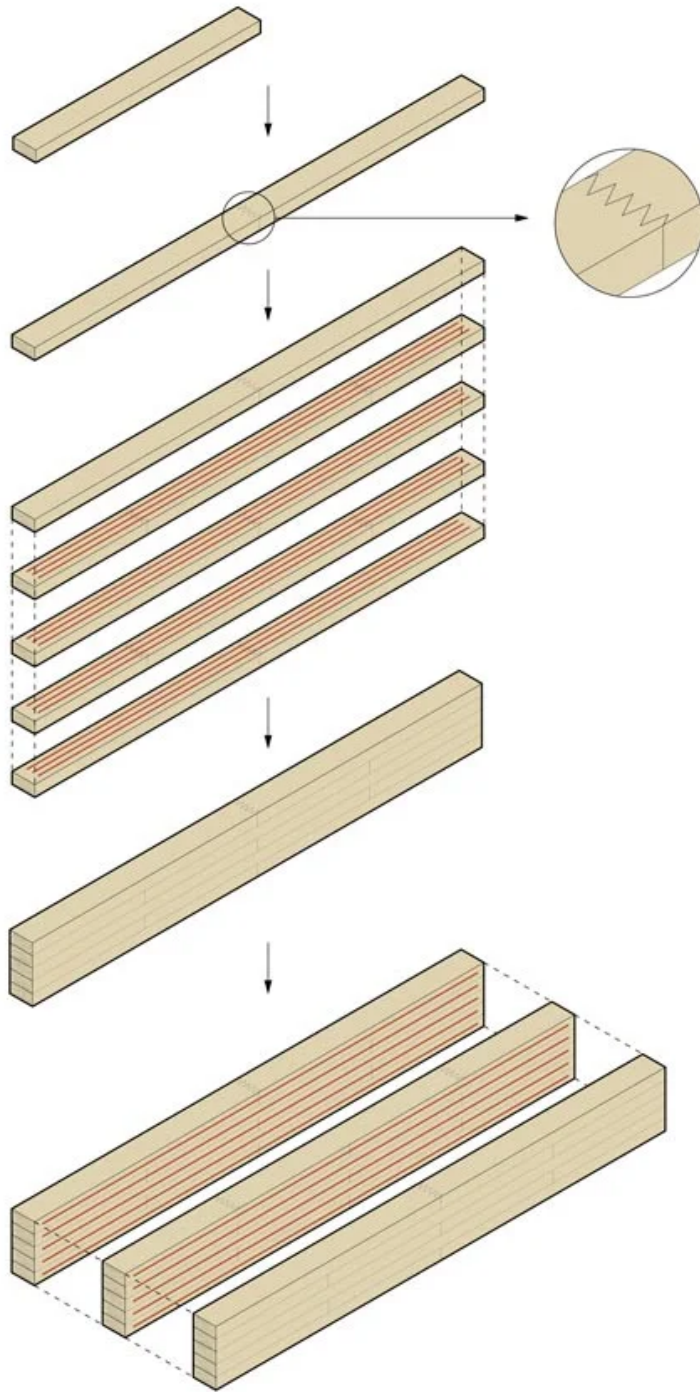


Figura 7 Axonometria posicionamento e aglomeração de lamelas em GLT.

2.3 Vantagens e Desvantagens dos sistemas pré-fabricados em madeira: CLT e GLT.

A construção pré-fabricada em madeira retira elevados benefícios da construção industrializada, minimizando o índice de erros na fase de produção, encurtando os prazos de execução da obra, implicando, porém, um eficaz acompanhamento no projeto de execução, para evitar erros no dimensionamento das placas.

Nos países do norte da Europa, em que a escassez de mão de obra é considerada um grande problema, a utilização destes materiais veio minimizá-lo, tendo em conta que, em boa medida, o uso da mão de obra é residual e somente é necessário para a montagem, com o auxílio de agentes mecânicos e gruas. Ademais, esta montagem é feita na maior parte das vezes por ligações metálicas, parafusos, e a marcação dos mesmos já vem desde a fábrica. Além disso, a construção em CLT e GLT é considerada “*seca*”, pois não existem resíduos ao contrário do que acontece numa construção dita convencional, como é o caso do betão.

A indústria da construção é das principais responsáveis pela libertação de dióxido de carbono para a atmosfera, sendo a sua redução uma urgência, a curto prazo. A construção em madeira tem um papel muito importante nesta matéria, pois, além de ser a que liberta menos Co₂ para a atmosfera, o material usado tem até capacidade de armazenamento do mesmo.

A nível térmico o CLT apresenta uma condutibilidade térmica² baixa. Esta vantagem torna-se notável quando comparado aos sistemas construtivos convencionais devido à sua baixa condutibilidade térmica que é conseguida pela ausência de pontes térmicas e pela redução das pontes térmicas lineares.

² A condutibilidade térmica é uma propriedade física dos materiais que mede a capacidade de conduzir calor.

A segurança contra incêndios é considerada outra vantagem no CLT e GLT, visto que, para além de a madeira ser sujeita a um processo de secagem e a percentagem de humidade ser controlada, é feito um processo de carbonização da madeira para que, em casa de incêndio, o fogo se propague mais lentamente.

Todos os materiais têm as suas limitações e os pré-fabricados em madeira não são exceção. As peças estruturais saem de fábrica prontas e nas dimensões em que aí são produzidas, sendo necessário o transporte desde o local de fabrico até ao local da obra. Ora, sendo certo que os veículos de transporte têm medidas limite (peso, comprimento e largura), que não podem ser excedidas, tal constrangimento exige que as peças em madeira a transportar não excedam as dimensões máximas consentidas pelas viaturas transportadoras. Nestas circunstâncias, sendo o CLT e o GLT fabricados com medidas máximas que permitam o seu transporte o aumento das lajes e paredes e dos vãos apenas é possível através a partir de junção de placas, através da colagem de mais lamelas.

Em qualquer caso, a junção e a colagem de placas e painéis ocasionam juntas e implicam cuidados e rigor no planeamento e execução da obra.

Os materiais em causa, CLT e GLT, são sensíveis à humidade proveniente do solo e, por isso, não podem estar em contacto direto com o solo. Acarretam, assim, a necessidade de prévia construção de uma laje de piso térreo em betão, que pode estar assente em suportes de ferro. Ou seja, a madeira, por si só, não consegue materializar uma construção duradoura e de qualidade. Porém, esta limitação não é grave, atenta a facilidade de conjugação dos pré-fabricados em madeira com outros materiais tais como o ferro e o betão. Importa, por fim, ter presente que, sendo possível o revestimento interior em madeira pré-fabricada em locais onde existe libertação de vapores, tais como na proximidade de piscina interiores, é necessário haver um revestimento do exterior do edifício.

2.4 Análise Económica e Impacto Ambiental.

Há uma falta de informação no que toca à construção em madeira pré-fabricada. Assim, de modo a colmatar este problema, várias empresas desenvolveram estudos em comparação com outros sistemas construtivos, para que se tornasse mais fácil a compreensão desta matéria.

A empresa canadiana “*FPInovations*” (Crespell e Gaston, 2011) revelou que, em comparação com os sistemas construtivos convencionais, o CLT é o sistema construtivo mais económico na realização de projetos de habitação de altura média, comércio e educação até 2 pisos. Na parte económica, é preciso contabilizar que tanto o CLT como o GLT associam-se a um tempo controlado de fabricação e redução de mão de obra, o que se torna uma grande vantagem na construção de grandes estruturas.

O impacto ambiental, à semelhança da análise económica, foi estudado por algumas entidades que se propuseram a estudar as emissões de dióxido de carbono no CLT e GLT, e, compará-las com sistemas construtivos convencionais. A pré-fabricação em madeira é competitiva no norte da Europa, uma vez que a matéria-prima utilizada, maioritariamente abeto e choupo, se encontra em abundância nas florestas dessa região, salientando-se que, aí, após a extração de uma árvore são plantadas pelo menos três. Este controlo é feito por empresas como a “*Binderholz*”, que se encarrega de tornar este sistema construtivo renovável uma vez que, o próprio fabricante repõe e planta a matéria-prima, sem recorrer a desflorestações.

A pegada ambiental da madeira pré-fabricada tem sido discutida como sendo vantajosa quando comparada à do betão. Inerente à discussão pressupõe-se que o impacto ambiental comparativo do CLT e GLT será menor, analisando o ciclo de vida de perfis de madeira e de betão. O que sustenta esta realidade são as baixas emissões de gases de efeito de estufa produzidos por estas estruturas pré-fabricadas, e a capacidade de armazenamento de carbono na madeira, proveniente da absorção feita pelas árvores.

Dois estudos, Werner e Richter, 2007 e Athena Sustainable Materials Institute, 2012, analisaram o ciclo de vida da madeira e concluíram que esta supera o aço e o betão. A madeira quando comparada aos sistemas construtivos supracitados requer uma inferior utilização de energia para a sua produção e polui menos o ar e a água; portanto, o uso de sistemas pré-fabricados em madeira pode contribuir para a redução de dióxido de carbono na atmosfera, resultando em uma repressão a curto prazo do aquecimento global.

Apesar de as lajes em CLT ou os pilares em GLT não poderem voltar ao seu estado natural, árvore, podem ser reaproveitados para outras construções, não perdendo a sua utilidade. Tal como já foi referido, a massa de carbono armazenada nestas estruturas é significativa, e para sustentar esta afirmação, a “*Wood Carbon Calculator*” baseou-se na conceção de um projeto em CLT, no qual foi previsto um armazenamento de Co2 no total de 692 toneladas comparável à circulação de 132 carros ou ao fornecimento de energia para uma habitação comum durante 59 anos.

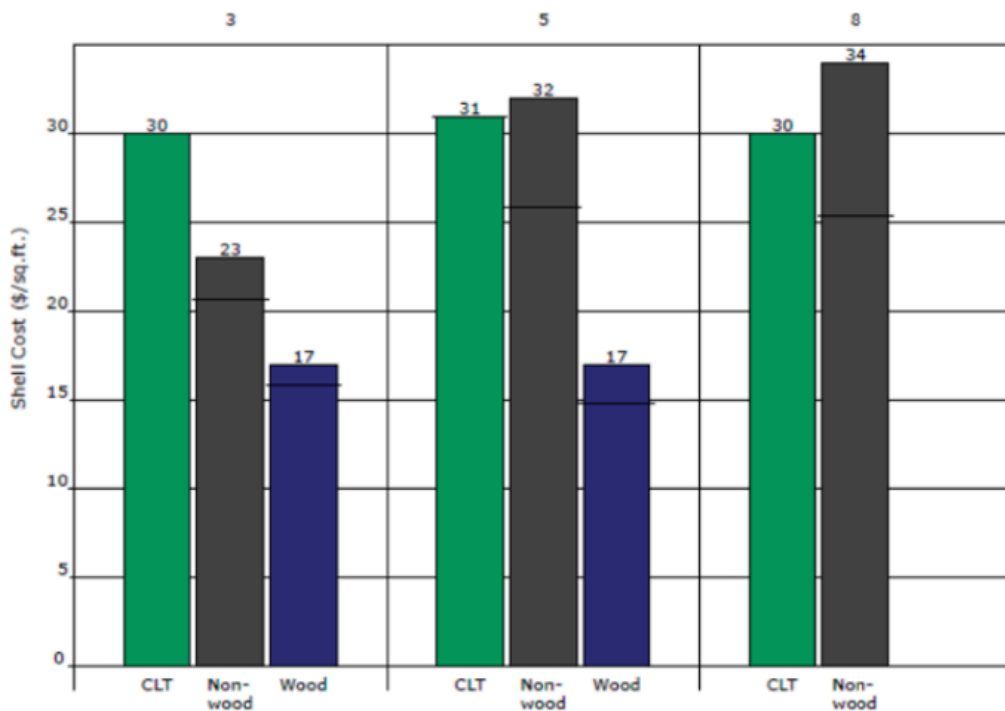


Figura 8 Custos unitários associados aos componentes estruturais de um edifício, segundo diferentes materiais estruturais para diferentes números de pisos (Crespell e Gaston, 2011).

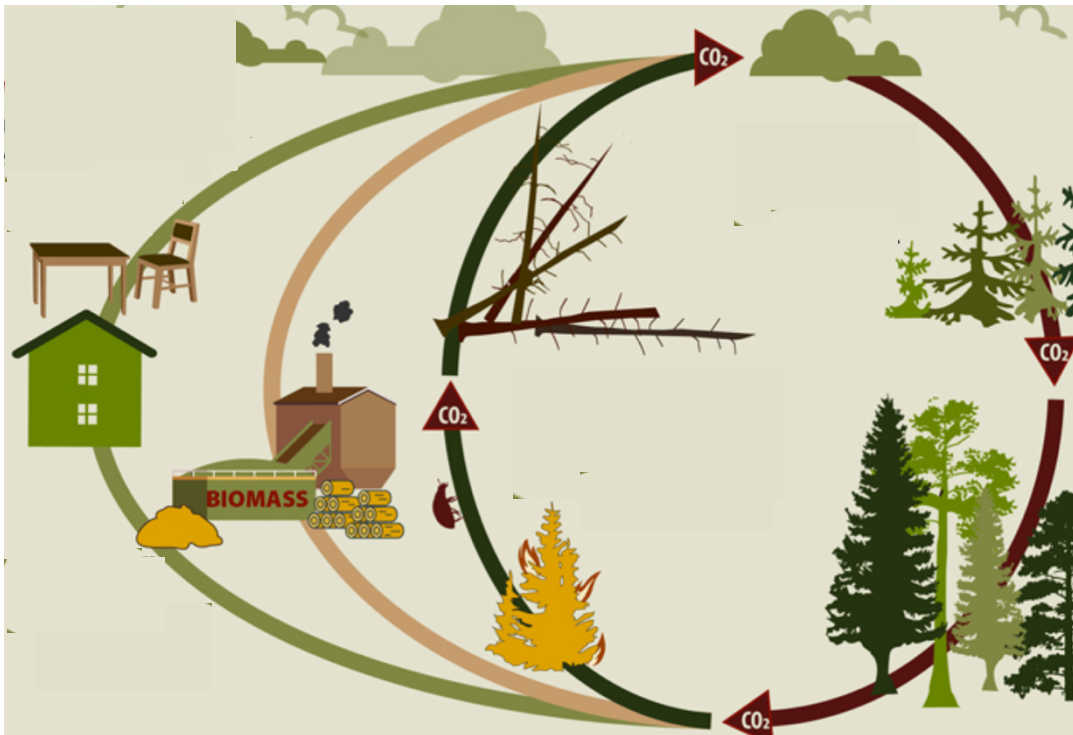


Figura 9 Esquema do reaproveitamento da madeira.

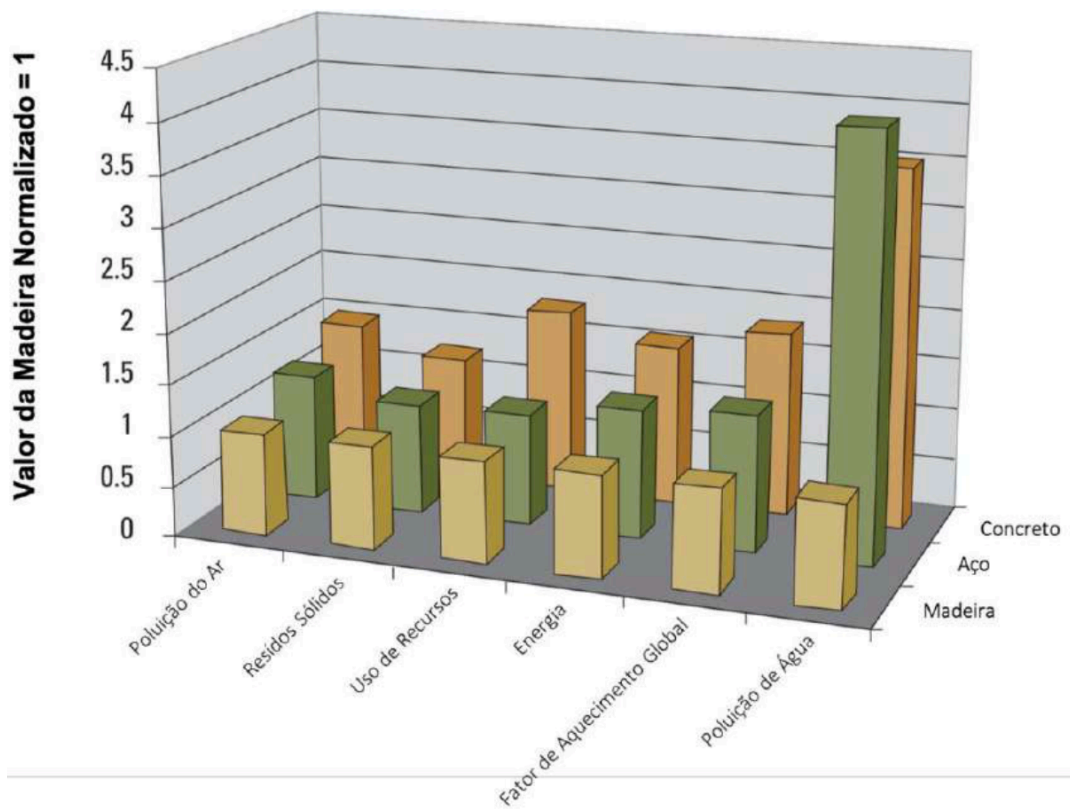


Figura 10 Gráfico resultante do estudo do impacto ambiental entre projetos de madeira, aço e betão (Canadian Wood Council).

CAPÍTULO III
Da concessão à execução.

3.1- Processo de Fabrico.

O processo de fabrico inicia-se pelo estudo prévio da matéria-prima, para efeito, o tronco da árvore é constituído pela casca, borne, cerne e medula. Das camadas que foram referidas têm particular interesse, o cerne e o borne pois é destas partes que se faz a extração da madeira para o fabrico de CLT e GLT. A madeira é um material anisotrópico, o que se traduz na variação das propriedades mecânicas em relação aos diversos planos, desta forma, a madeira é constituída por 3 eixos e não existe qualquer tipo de simetria entre os mesmos. Em contrapartida, a madeira lamelada é concebida através da sobreposição de lamelas permitindo uma seleção criteriosa das mesmas, e, delineando um eixo que permite uniformizar a distribuição de cargas, estamos perante uma evolução deste novo sistema construtivo face à madeira maciça.

Após a madeira ser serrada passa por um processo de controlo e qualidade, nesta triagem é medida a humidade que ronda os 12% com uma tolerância de 2%. Os painéis de CLT e as camadas de GLT são concebidos através de madeira seca evitando o ataque de insetos xilófagos e a criação de fungos. Na conclusão desta fase existe uma certificação que garante se as lamelas estão de acordo com os valores regulamentares e, se respeitam os limites normativos implementados com isto, é verificada a classe de resistência “C24”, sendo possível a utilização de classes de resistência inferiores “C18” e “C16”, contudo não é permitido a mistura de camadas de diferentes resistências.

A replantação da floresta acontece sempre que uma árvore é cortada, num período de 5 anos é possível avaliar as que se encontram num processo de crescimento saudável e, em 10 anos já se pode voltar a proceder ao corte. O tipo de madeira para a produção de GLT e CLT é selecionado de árvores como o pinho, eucalipto, abeto e choupo, que, se encontram em

abundância nas florestas do norte da Europa.

O processo de fabrico é equivalente para os dois sistemas construtivos e, com o objetivo de garantir uma análise detalhada de ambos primeiro será abordado o CLT. Após a madeira ser serrada e transportada inicia-se o processo de separação das lamelas que são posicionadas lado a lado com a mesma orientação, permitindo padronizar as medidas e diminuir o desperdício de matéria-prima. Antes de iniciar o processo de colagem as camadas são lixadas e efetuam-se “*finger-joints*” no topo das lamelas.

Depois de as lamelas se encontrarem paralelas umas às outras, são coladas perpendicularmente a outra camada, este processo é repetido até ser atingida a espessura pretendida do painel de CLT. A colagem é feita através da utilização de resina que, se encontra isenta de solventes e produção de odores, com a finalidade de, não colocar em risco a saúde dos trabalhadores. De modo automático são aplicadas 200 gramas de cola por m² em toda a superfície da placa, em seguida, os painéis passam por prensas hidráulicas com uma pressão de MN/m², garantido a eficiência da cola e aumentando a resistência da peça.

O processo de corte é concebido no local de produção através de maquinaria com uma tecnologia avançada. Permitindo precisão no corte no dimensionamento dos painéis como também na abertura de rasgos para vãos e infraestruturas. Todos os cortes realizados nas placas de CLT, sejam elas paredes ou lajes, são previamente analisados, de modo, a não prejudicar a sua resistência.

Por fim, procede-se ao embalamento dos painéis para o seu respetivo transporte. As dimensões de transporte permitidas variam consoante o código da estrada de cada país, mas por norma, painéis com comprimento superior a 13,6 metros exigem a utilização de reboques especiais ou transporte via marítima. Quando o comprimento mencionado não é ultrapassado e a largura for até 2,95 metros as placas podem ser transportadas por um camião com reboque articulado, opção mais comum.

O CLT é sujeito à Aprovação Técnica europeia (ETA-06/0138), na medida em que, cada fabricante desenvolve documentos com informações sobre o produto definindo as dimensões e as propriedades do produto.

Em relação à madeira lamelada colada, GLT, o processo de fabrico, a partir do momento em que a matéria-prima se encontra cortada, inicia-se pela secagem das lamelas. É imposto um valor máximo de 5% de variação do teor de água entre as lamelas de forma a não sacrificar o processo de colagem e controlar problemas de expansão ou retração das peças que interferem com o dimensionamento dos pilares ou vigas após o seu fabrico. Por norma, e, tal como acontece com os painéis de CLT, o valor de água das peças não deve exceder os 12%.

Segue-se a preparação das lamelas para a colagem, são realizadas “*finger joints*” no topo das mesmas para que se obtenha um correto funcionamento da resistência da madeira. É de salientar que esta junção é feita entre as várias lamelas de comprimentos diferentes originando uma camada, desta forma o comprimento das lamelas desencontra-se de camada para camada com o intuito da carga ser distribuída de forma unidirecional.

É concebido um processo de lixagem e de seguida, é colocada cola em toda a superfície da camada, 250 gramas por m². As camadas são coladas paralelamente uma às outras e, em seguida, as peças são submetidas a uma prensa hidráulica com o objetivo de garantir a solidificação do elemento estrutural.

Para finalizar segue-se o processo de acabamento, o GLT pode ser comercializado com a aparência original como com outras variáveis, e, nesta etapa são concebidos orifícios na peça para a realização das ligações em obra. Ao contrário do CLT este material pode ser colocado no exterior quando não se encontra em contacto direto com o solo e é submetido a produtos preventivos que retardar a sua degradação.

É necessário que, cada fabricante consiga conjugar as características do produto para obter certificado de qualidade na sua aplicação permitindo a livre circulação no Espaço Económico Europeu (EEE). A norma europeia

EN 386, “*Glued Laminated Timber. Performance Requirements and minimum production requirements*”, afirma diversos fatores que afetam a resistência e durabilidade do produto final, a título de exemplo: limpeza e afinação das máquinas, qualidade e orientação das lamelas, pressão de colagem, temperatura e humidade relativa ao ar.

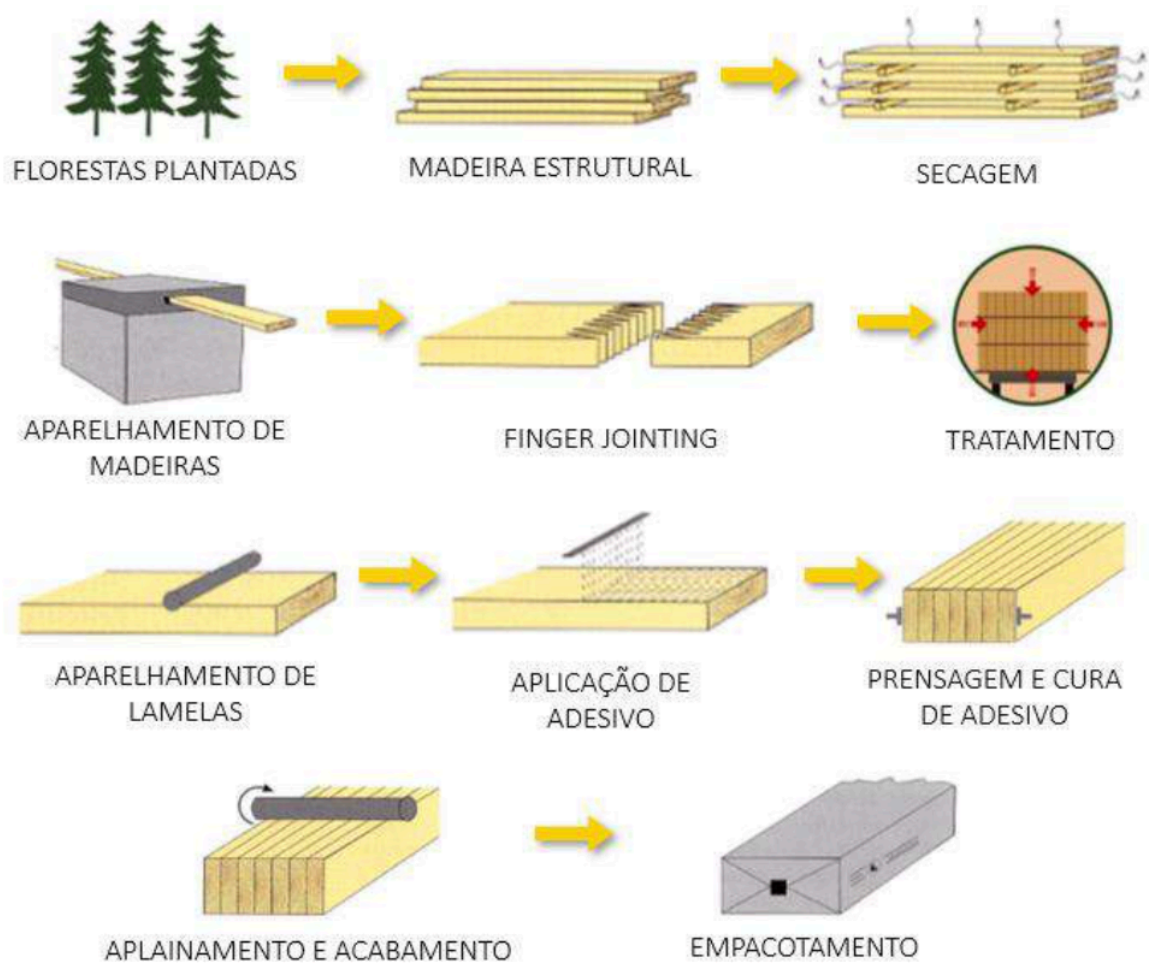


Figura 11 Processo fabrico CLT e GLT.



Figura 12 Preparação das lamelas.

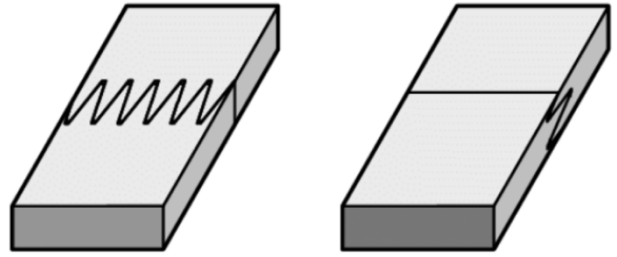


Figura 13 Execução de "finger-joints".



Figura 14 Processo de colagem.



Figura 15 Prensagem e recorte das peças.

3.2- Acabamentos e Infraestruturas.

Os dois tipos de madeira pré-fabricada em estudo, apresentam tipos de acabamentos. Para o CLT e o GLT funcionarem num projeto é necessário conjugá-los com outros materiais como o betão, aço, zinco. Em termos de infraestruturas só se aplica ao CLT, bem como os revestimentos de fachadas.

Em relação aos painéis de CLT existe uma catalogação com base na qualidade de superfície de cada painel que se distingue em três categorias, consoante a finalidade de cada peça. A categoria “*invisível*” é aplicada e recomendada a elementos construtivos ocultos, estando desta forma revestidos com outro material, assim, esta classe tem como prioridade a resistência da madeira e deixando de parte a sua aparência

A categoria “*qualidade industrial*”, foi concebida para o uso em edifícios industriais não exigindo grandes detalhes. O painel é lixado, e admitem se ligeiras irregularidades na união das juntas, tal como vestígios de cola e rugosidades no painel.

Por último, a categoria “*qualidade moradia*” é a mais exigente em termos de qualidade de acabamentos, os painéis com a classificação “*CT*” contêm camadas perpendiculares e são concebidos para paredes, já os painéis “*CL*” executados para elementos horizontais como lajes e coberturas. Não é permitido que a junta destes painéis ultrapasse os dois milímetros, sendo estes submetidos a avaliação de controlo de qualidade.

Segundo o Eurocódigo 5³ as “classes de serviço 1 e 2” caracterizam os painéis cujo coeficiente de variação volumétrica é de 0,001% por cada 1% de variação no teor de água na madeira. A título de exemplo, o complexo municipal de piscinas da Caparica no qual a nave da piscina foi projetada com o sistema construtivo à vista, neste caso, o CLT está referenciado à

³ Norma europeia que fornece diretrizes para o projeto de estruturas de madeira e produtos derivados da madeira.

“classe de serviço 2” para este efeito, é necessário a boa circulação de ar, insuflação e extração, para serem evitadas condensações de modo a não deteriorar a madeira. Finalmente, a “classe de serviço 3” é utilizada em peças que estão expostas a intempéries onde a variação do teor de água na madeira é significativa.

Tal como acontece com o Cross Laminated Timber, o Glued Laminated Timber, apresenta várias categorias de qualidade de superfície. A primeira, não estandardizada, dita que todas as superfícies que fiquem à vista devem ser reparadas de modo a ficarem sem nós, lascas e manchas de cola, esta categoria deve ser utilizada quando os elementos são visíveis, como é o caso de escolas e residências.

Segue-se a categoria estandardizada, na qual as laterais do GLT são lixadas, no entanto, permite-se que possam ocorrer pequenos defeitos como, nós, lascas e manchas de cola. É recomendado que esta qualidade seja utilizada em vigas de complexos desportivos e instalações comerciais.

Por fim, a categoria invisível, utilizada em locais de armazenamento ou estruturas que não se encontram visíveis. Esta qualidade permite que a madeira possa ser lixada de um dos lados quando se trata de elementos não superiores a noventa milímetros, tirando esta exceção a madeira apresenta laterais desbotadas. De grosso modo, estamos perante peças de madeira que apresentam nós, lascas e manchas de cola salientes.

O GLT, apresenta quatro diferentes classes de proteção que, se adequam a preservar o bom funcionamento do material consoante o local onde é aplicado, é de salientar que, é sempre incorporado um tratamento de proteção na madeira sob pressão antes de esta sair do local onde foi produzida.

A madeira tratada, de acordo com estas classes, é produzida de acordo com as regras nórdicas elaboradas pelo Concelho Nórdico de Preservação de Madeira (NTR). A classe “NTR/M” é concebida para a madeira que está em contacto direto com a água do mar, ou seja, destinada ao risco de apodrecimento e ataque de vermes. A classe “NTR/AB” destina-se para o

uso acima do solo e a classe “NTR/A” para o contacto permanente com o solo. Por fim, a classe “NTR/B” destina-se a pequenos detalhes de carpintaria externa.

No que diz respeito aos revestimentos, uma mais-valia na construção de edifícios em CLT é a versatilidade nos materiais de revestimento de fachada. O sistema “ETICS” é o mais utilizado quando se trata de habitação, apesar de, não ser o mais aconselhado pois, a madeira não consegue ventilar de forma natural, para este sistema não prejudicar a construção é necessária haver uma boa ventilação pelo interior da construção.

Em termos de fachada ventilada, tanto o viroc como o ripado de madeira permitem que a estrutura respire, sendo sempre necessário a utilização de uma barreira pára-vapor de forma a proteger os painéis de CLT das condensações.

As infraestruturas, neste tipo de construção, são contidas debaixo dos revestimentos como qualquer tipo de outras instalações técnicas simples. Quando é necessário recorrer a rasgos para a passagem de tubagens é necessária uma análise estrutural e acústica do edifício, assim, quando o rasgo é feito nas paredes, este deve ser aberto na vertical (direção da parede) deixando o mínimo de 10 cm de afastamento de cada lateral. É crucial que os rasgos não sejam feitos na mesma secção transversal das paredes, em face opostas, dando pelo menos 1 metros de afastamento. Finalmente, para a execução das “courettes” é feito um rasgo vertical no painel da laje para a passagem da tubagem.



Figura 16 Categoria "qualidade moradia".



Figura 17 Categoria "qualidade industrial".



Figura 18 Categoria "qualidade invisível".

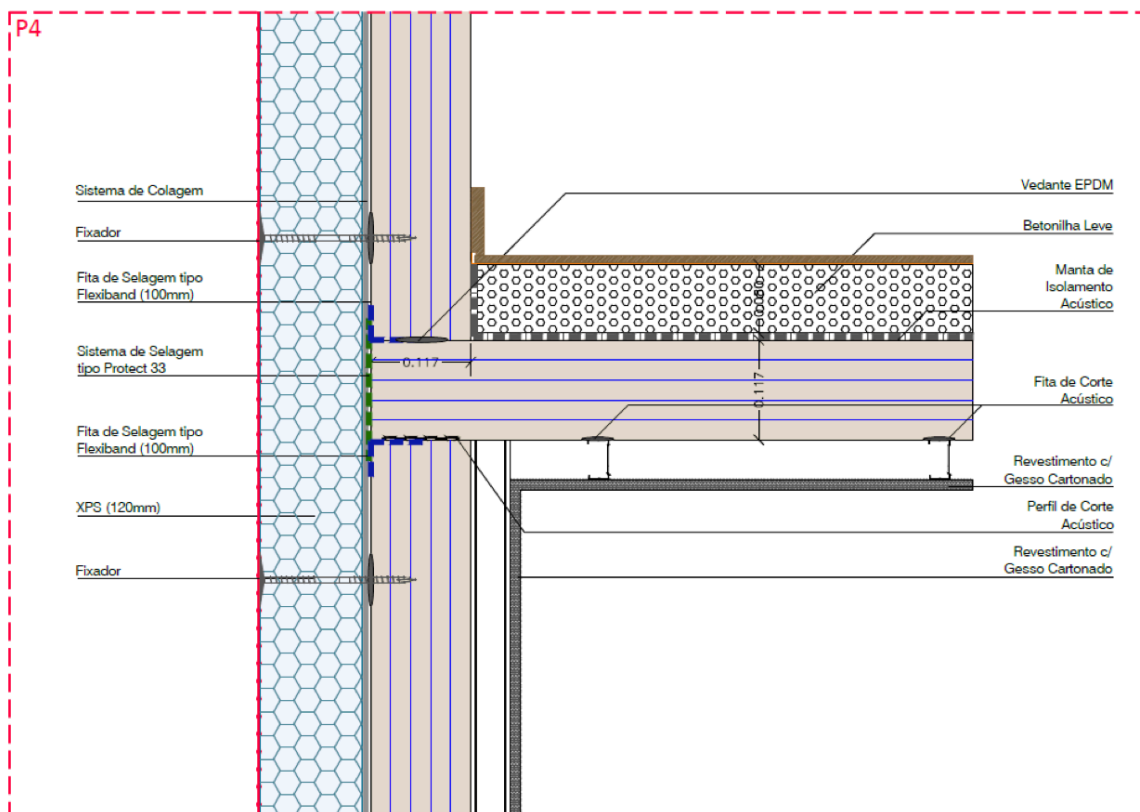


Figura 19 Revestimento "ETICS" fachada em CLT.

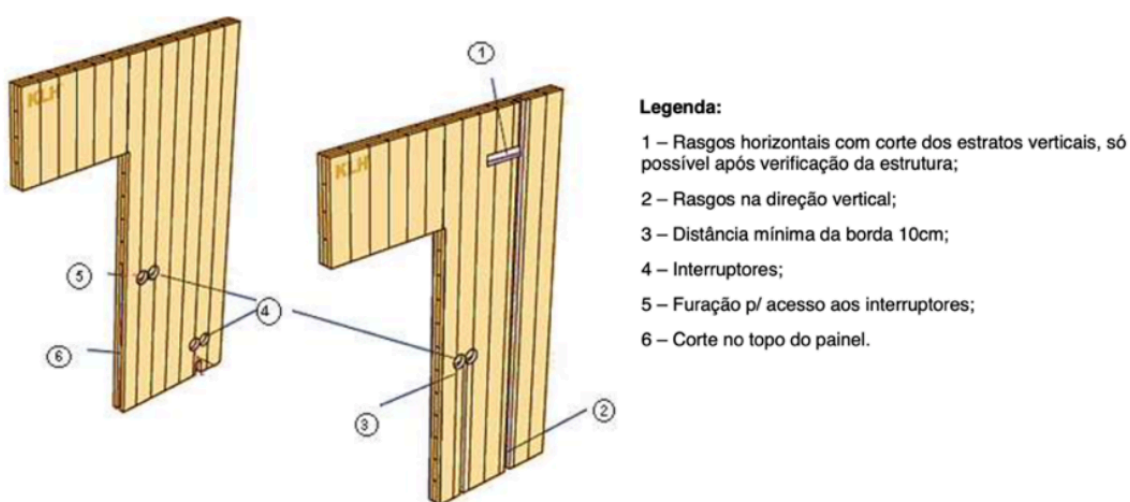
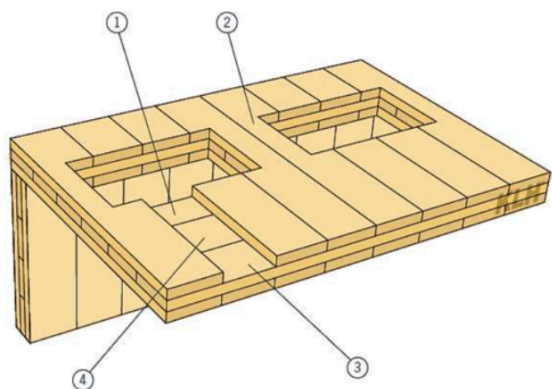


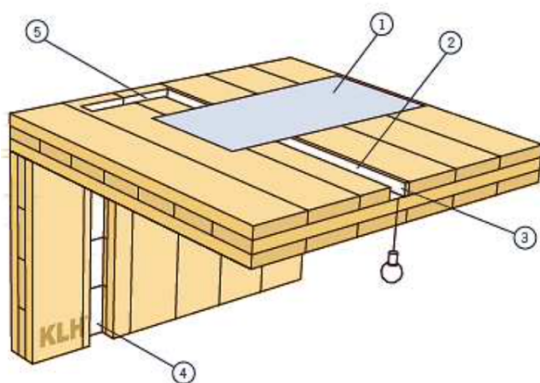
Figura 20 Passagem vertical de tubagem elétrica.



Legenda:

- 1 – Abertura vertical no painel (*courette*);
- 2 – Painel de laje CLT;
- 3 e 4 – Ranhura horizontal para passagem de tubagens (apenas até à primeira camada transversal).

Figura 21 Passagem vertical de infraestruturas.



Legenda:

- 1 – Ocultação dos rasgos com tela;
- 2 – Rasgos na direção principal de flexão;
- 3 – Furação vertical;
- 4 – Rasgos na direção vertical;
- 5 – Rasgos perpendiculares à direção principal de flexão, só possível junto aos apoios.

Figura 22 Passagem horizontal de tubos elétricos.

3.3- Ligações entre elementos e outros sistemas construtivos.

Nesta etapa é importante referir que uma construção pré-fabricada só funciona se existir um planeamento prévio do projeto, por isso cada elemento de CLT e GLT vem cortado de acordo com as medidas exatas, explícitas no projeto de execução, com um sistema de montagem tipo “*puzzle*” que permite uma margem de erro de dois milímetros. Trata-se de uma construção “*seca*” o que significa um controlo de resíduos e facilidade de execução de outras especialidades em simultâneo com a montagem da estrutura.

Para o efeito, os exemplos em estudo, relativos ao CLT, apresentados pela empresa austríaca “*KLH Massivholz*” e pelo “*CLT handbook*” (Karacabeyli e Douglas, 2013) não têm como objetivo ser vinculativos pois, cada projeto tem as suas especificidades que, precisam de ser analisadas e estudadas de modo a reajustar algum tipo de ligações. O importante na análise em curso é entender os fundamentos de qualquer um dos exemplos de ligações de modo que, o bom funcionamento da estrutura seja garantido.

Devido à suscetibilidade apresentada pela madeira lamelada face à humidade proveniente do solo, a laje do piso térreo é obrigatoriamente feita em betão, sendo aconselhável existir uma tela asfáltica nos locais onde o CLT é aplicado. A ligação entre os dois materiais é feita por uma cantoneira metálica aparafusada por parafusos roscados.

A ligação de canto entre as paredes exteriores é efetuada por parafusos dimensionados de acordo com os requisitos estruturais. Relativamente à interseção entre as paredes exteriores e interiores o princípio de ligação é o mesmo que acontece anteriormente, no entanto, a diferença está na fixação dos parafusos. Primeiramente os painéis são aparafusados pelo exterior e, de seguida, pelo interior com um ângulo de 20° de perfuração.

A fixação entre os painéis de parede paralelos pode ser feita a partir de quatro opções, lingueta metálica, cobre juntas em madeira maciça, corte de meia-madeira e, por último, sistema de ligação com tubo. Posto isto, verifica-se que a ligação em corte de meia-madeira é o sistema mais frágil, correndo um risco da divisão da secção transversal do elemento, e, o sistema de ligação de tubo, é o mais prático e resistente tendo em conta, que, em obra só é necessário o encaixe e aperto das porcas metálicas.

A ligação entre painéis de parede perpendiculares, posicionadas a 90°, pode ser feita através de parafusos auto-roscantes, perfis de madeira ocultos, cantoneira metálica ou placa metálica oculta. A vantagem da ligação com perfis de madeira escondidos em relação à ligação através de

parafusos auto-roscantes, passa por um aumento significativo da resistência por ser possível fixar mais parafusos aos perfis de madeira, aparafusados à parede transversal.

Em relação às ligações transversais do painel da laje, são executadas com uma junta de meia-madeira ou através da fixação de uma peça de contraplacado. As ligações longitudinais são realizadas da mesma forma que a anterior apesar de, a união feita com contraplacado necessitar de ser reforçada com parafusos cruzados de modo a equilibrar a tensão das juntas.

Por fim, a ligação entre painéis de cobertura varia consoante a orientação da carga, quando esta trabalha de forma longitudinal os painéis de CLT são encostados e fixados por parafusos roscados verticais e inclinados aparafusados ao longo da junta de dilatação.

No que toca à madeira lamelada colada, as ligações são semelhantes às mencionadas anteriormente. Assim, são executadas através de elementos metálicos, podendo variar de solução consoante a necessidade do projeto. Em relação à conexão entre a laje de betão e o pilar, são apresentadas três possibilidades de execução. A primeira corresponde à fixação de uma placa metálica nas extremidades do pilar que, se encontra embutida no betão e está pregada à madeira através pinos metálicos.

De seguida, e em alternativa, é possível a fixação de uma cantoneira de aço ao betão e à madeira através de grampos, solução adequada a pequenas cargas horizontais e verticais. Ambas as opções se adequam ao interior de edifícios, uma vez que, não existe um afastamento do pilar à laje, no entanto, é necessário conferir à madeira um tratamento preventivo contra a humidade.

Finalmente, a fixação mais indicada a espaços exteriores onde existe água corrente, passa pelo pilar estar afastado do betão pelo menos cinco centímetros. É embutido um parafuso auto-roscante no betão e fixada uma peça de ferro embutida no pilar, desta forma a ligação permanece visível.

Relativamente, às ligações entre viga e pilar podem-se realizar de diversas formas. Nomeadamente, a partir de placas metálicas posicionadas a meio da secção de ambos elementos e fixada através de parafusos auto-roscantes ou parafusos de ancoragem. De modo que, a fixação seja invisível é feito um rasgo na viga e no pilar sendo embutida uma placa metálica a ligar ambos fixada através de pinos de aço.

Por último, a ligação entre vigas, tal como as restantes mencionadas anteriormente, pode ser realizada de forma invisível ou visível. A ligação mais simples passa pela fixação de uma placa metálica nas juntas dos elementos, fixadas através de pregos ou parafusos de ancoragem. Este mesmo sistema pode ser feito de forma oculta, onde a mesma placa metálica é embutida na viga e a fixação realizada através de pinos de aço.

Em algumas circunstâncias, onde a carga é elevada, é necessário a criação de uma subestrutura de vigas secundárias. Para efeito, a viga secundária pode ser ficada à lateral da primária através de cantoneiras metálicas ou parafusos de suporte de carga axial cruzados posicionados com um ângulo de 30°.

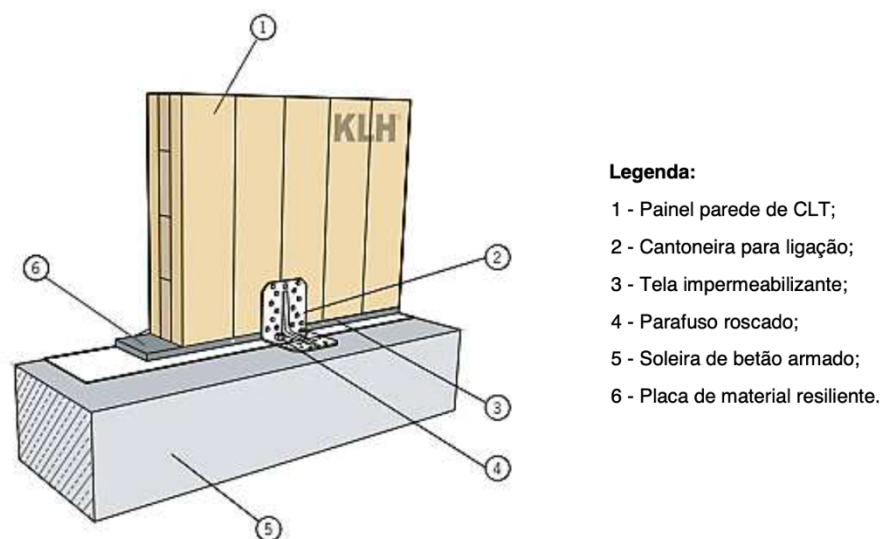
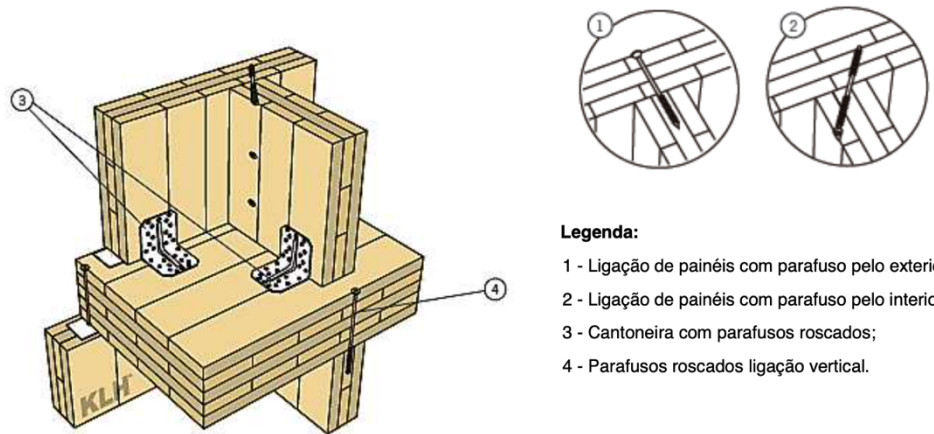
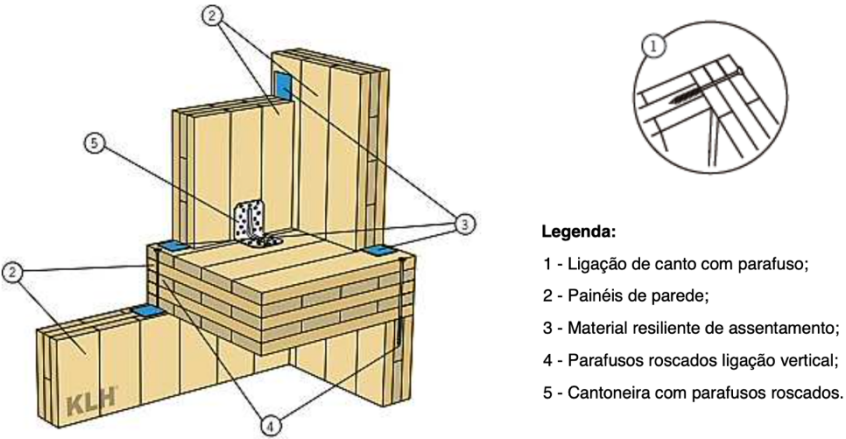


Figura 23 Ligação parede de CLT à laje em betão.



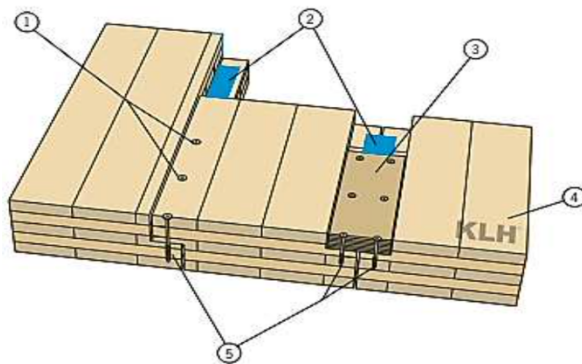
- Legenda:**
- 1 - Ligação de painéis com parafuso pelo exterior;
 - 2 - Ligação de painéis com parafuso pelo interior;
 - 3 - Cantoneira com parafusos roscados;
 - 4 - Parafusos roscados ligação vertical.

Figura 24 Ligação paredes exteriores/interiores.



- Legenda:**
- 1 - Ligação de canto com parafuso;
 - 2 - Painéis de parede;
 - 3 - Material resiliente de assentamento;
 - 4 - Parafusos roscados ligação vertical;
 - 5 - Cantoneira com parafusos roscados.

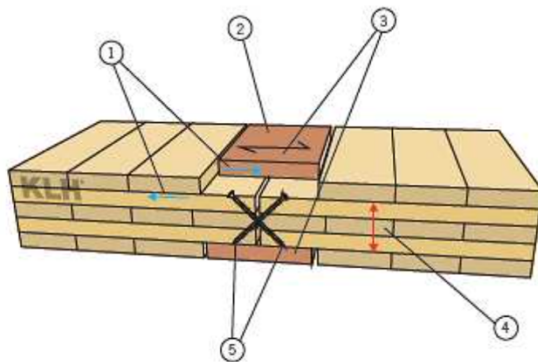
Figura 25 Ligação entre paredes exteriores.



Legenda:

- 1 - Ligação entre painéis;
- 2 - Material resiliente elástico;
- 3 - Trave de madeira de ligação;
- 4 - Painel laje;
- 5 - Parafusos roscados verticais.

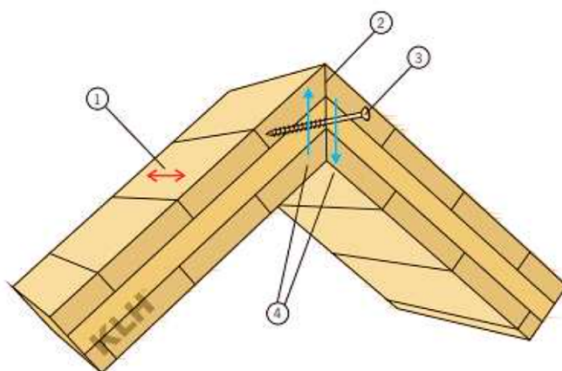
Figura 26 Ligação de painéis de laje.



Legenda:

- 1 - Transferência de forças axiais;
- 2 - Zona de ligação de painéis;
- 3 - Trave de madeira de ligação;
- 4 - Espessura painel de laje;
- 5 - Parafusos roscados inclinados.

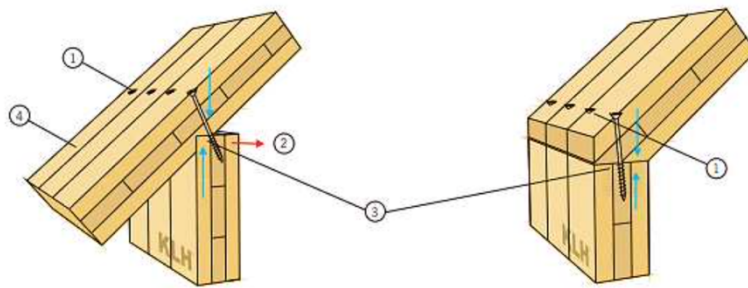
Figura 27 Ligação entre painéis de laje.



Legenda:

- 1 - Direção da camada externa direção do painel CLT;
- 2 - Zona de ligação de painéis;
- 3 - Parafuso roscado de ligação entre painéis;
- 4 - Transferência de forças de corte.

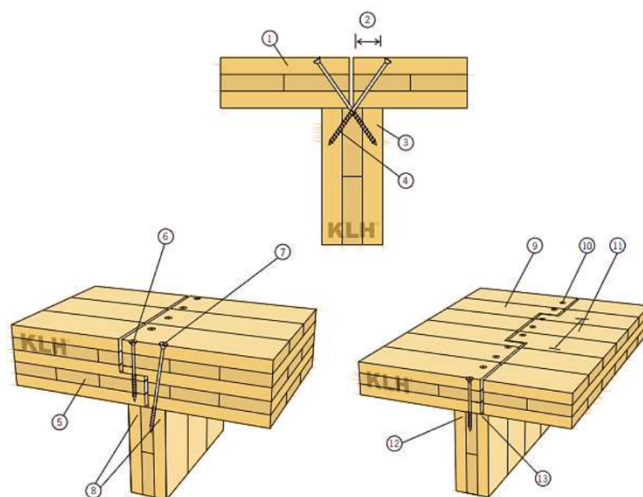
Figura 28 Ligação entre painéis de cobertura inclinada.



Legenda:

- 1 – Parafuso c/ posição perpendicular ao painel;
- 2 – Força provocada pela ligação dos painéis e anulada pela introdução dos parafusos.
- 3 – Superfície de apoio com ângulo normal na direção das cargas principais;
- 4 – Painéis CLT.

Figura 29 Ligação entre painéis de cobertura inclinada.



Legenda:

- 1 e 5 – Painel cobertura CLT/Painel laje;
- 2 – Tolerância entre final do painel e parafuso roscado;
- 3, 8 e 12 – Painel parede CLT;
- 6 e 10 – Parafuso roscado vertical;
- 4 e 7 - Parafuso roscado inclinado;
- 11 – Largura do mecanismo de encaixe;
- 13 – Junta de dilatação.

Figura 30 Ligação entre painéis de cobertura plana.

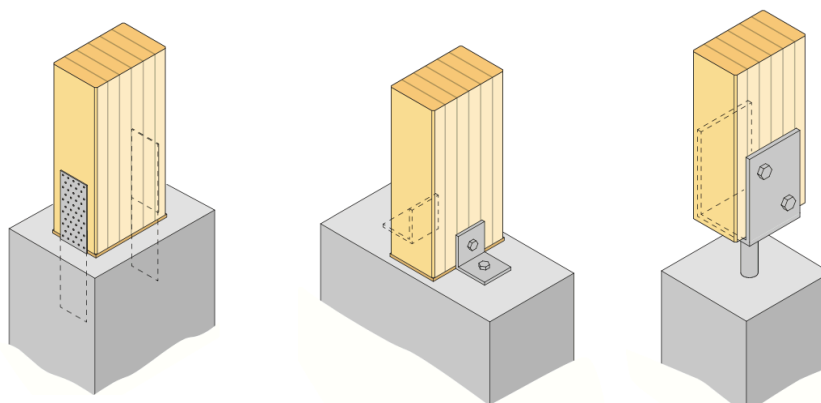


Figura 31 Ligação pilar em GLT à laje a partir de: placa metálica embutida, cantoneira, peça de ferro embutida no pilar.

3.4-Segurança contra incêndios.

A madeira apresenta vulnerabilidade e fácil combustão face à ação do fogo, esta diz respeito à capacidade que cada material tem em manter o fogo confinado ao espaço no qual o incêndio se deflagrou. A resistência da madeira lamelada ao fogo é medida através da dimensão da secção transversal de cada elemento. Em caso de exposição a elevadas temperaturas a camada de carvão criada à volta da madeira atua como proteção da restante secção, diminuindo a temperatura do material e retardando a combustibilidade.

Este material possui um comportamento previsível em relação à sua resistência ao fogo, uma vez que, é possível a medição da taxa de carbonização permitindo calcular a medida da secção transversal mínima que cada peça em madeira deve ter possibilitando assegurar as normas relativas à segurança contra incêndios inerentes a cada projeto.

Em relação ao CLT, tal como já referido anteriormente nas propriedades do material, este é composto por múltiplas camadas posicionadas ortogonalmente possuindo assim, características específicas em relação à ação do fogo. Deste modo as lamelas inflamam após o contacto com uma temperatura de 400.°C ou superior, ardendo com uma taxa de carbonização de 0.67mm por minuto na primeira camada, e, 0,74mm por minutos para as lamelas seguintes.

Posto isto, considera-se um painel de CLT com 140mm cuja cama exterior serve de proteção a uma secção transversal de 60mm, sendo possível determinar o tempo de resistência ao fogo do painel, $40 \div 0,67 \approx 60$ minutos.

À semelhança do CLT, a madeira lamelada colada apresenta características semelhantes na resistência contra o fogo. O Eurocódigo 5 fornece diretrizes sobre como calcular a taxa de carbonização e a perda de capacidade de carga à medida que a secção transversal vai sendo afetada, desta vez, em relação a

vigas e pilares.

Neste momento, a camada de carvão criada na primeira lamela é importante tal como foi referido a propósito do CLT, mas salienta-se a importância de produtos e revestimentos retardadores do fogo. Estes mesmo produtos têm de estar presentes nas ligações, nomeadamente nas fixações de aço que apresentam pontos fracos de resistência face elevadas temperaturas.

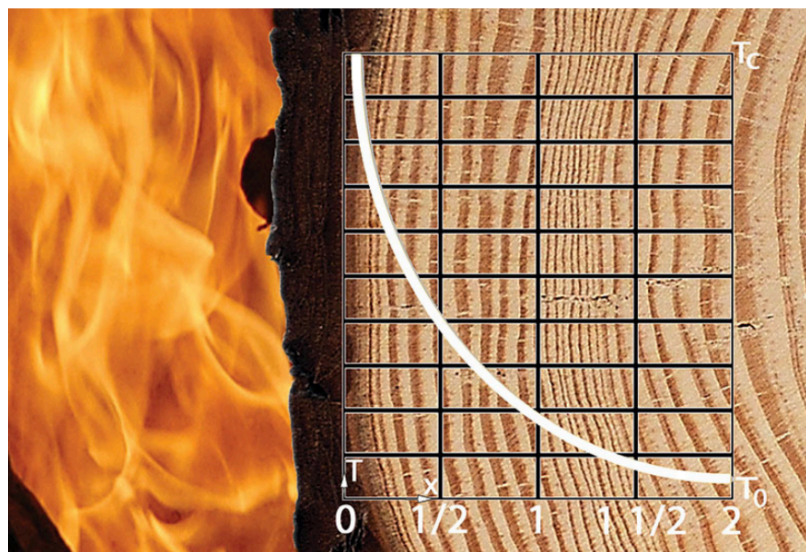


Figura 35 Resistência ao fogo madeira lamelada.

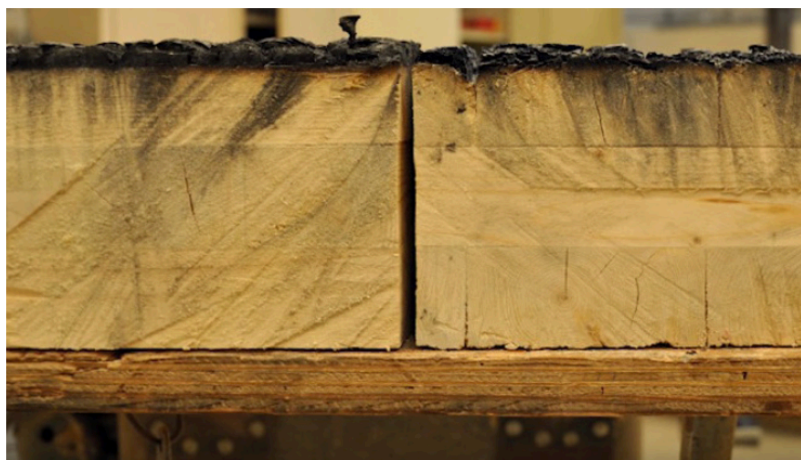


Figura 36 Camada de carvão criada à volta da madeira lamelada para proteção da restante secção.

3.5- Conforto térmico e acústico.

Entre os restantes materiais com capacidade estrutural, o CLT, apresenta uma condutibilidade térmica bastante baixa ($0,13 \text{ W/m.K}$), "*Watt por metro Kelvin*". Deste modo, um painel com uma espessura de 95mm de espessura, sem isolamento satisfaz o mínimo de valor exigido pelo RCCTE⁴. A aplicação de isolamento térmico, lã de rocha, proporciona uma construção com bom desempenho atingindo coeficientes de transmissão térmica inferior a $0,35 \text{ W/m.K}$.

Não obstante o facto de as paredes em CLT apresentarem resistência térmica por si só relevante, quando comparadas a elementos de alvenaria convencional este fator ainda se torna mais relevante. Assim, os principais fatores que diferenciam uma parede em CLT de outra em alvenaria de tijolo são: a ausência de pontes térmicas planas, redução de pontes térmicas lineares e da espessura da parede inferior para valores equiparados de transmissão térmica.

A ausência de pontes térmicas planas é justificada através da homogeneidade presente no CLT, uma vez que, estamos perante elementos contíguos isolados através de selantes térmicos entre juntas de painéis que permitem a inalterabilidade das condições de condutibilidade térmica.

Acusticamente, o sucesso do CLT e do GLT nas construções é evidente. A absorção sonora e a densidade e massa destes materiais é evidente na absorção das ondas sonoras que atenuam os ruídos proveniente do interior ou exterior. O GLT e o CLT podem ser utilizados em simultâneo com outros materiais com o intuito de reduzir a transmissão de som entre diferentes ambientes, como por exemplo, painéis de fibra de madeira em combinação com estes materiais aumentam o desempenho acústico. Um painel de CLT apresenta uma densidade de (50 kg/m^2) para uma parede de 100mm de espessura, de todo modo, a aplicação de isolamento acústico supera as

⁴ Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios.

exigências relativas à transferência do som.

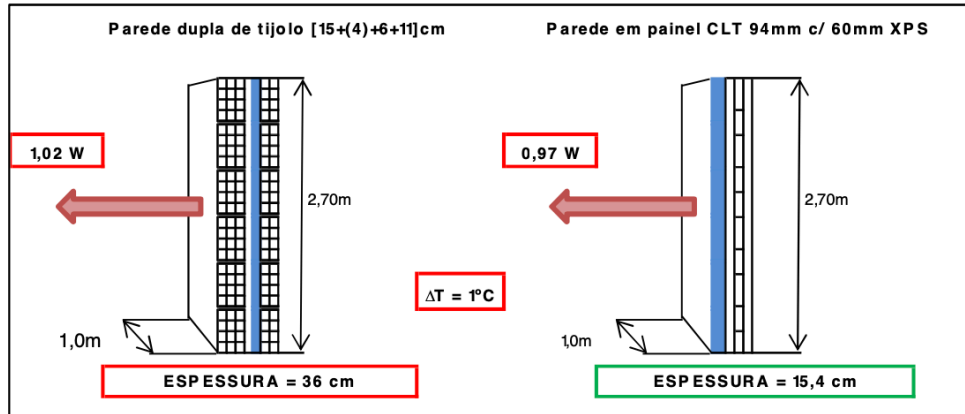


Figura 37 Transmissão térmica.

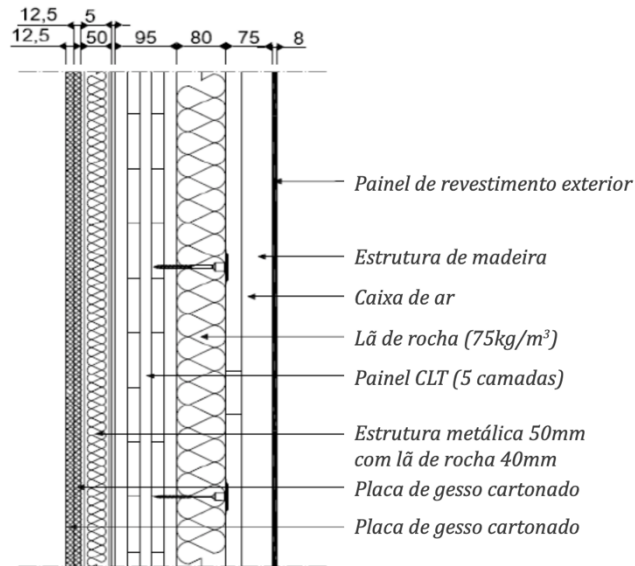


Figura 38 Fachada ventilada, parede em CLT.

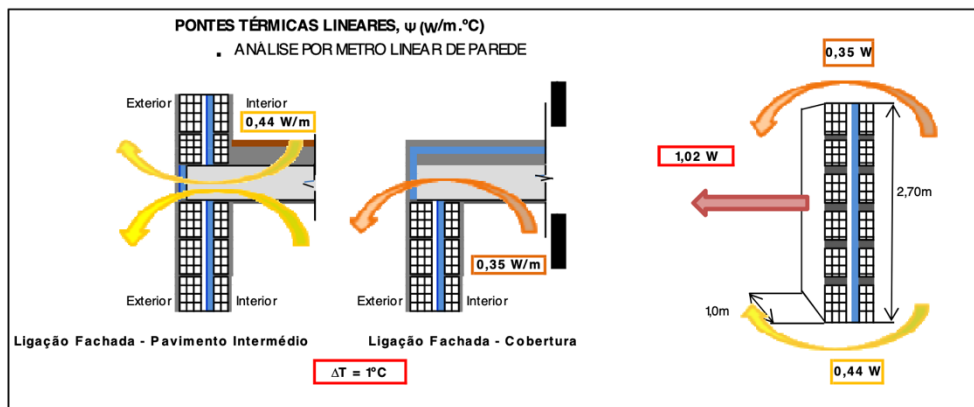


Figura 39 Pontes térmicas lineares.

m

CAPÍTULO IV

ANÁLISE DE REFERÊNCIAS ARQUITETÓNICAS

4.1 Centro Equestre

Arquiteto: Carlos Castanheira.

Ano: 2015.

Área: 4600 m².

Programa: Desportivo.

Localização: Matosinhos, Portugal.

O projeto do centro equestre situa-se no Cabo do Mundo em Leça da Palmeira, foi projetado pelo arquiteto Carlos Castanheira e construído entre 2012 /2014. Recebeu uma menção honrosa pelo P NAM⁵, em 2015, na categoria de qualidade estrutural, segundo o arquiteto *“Construir em madeira obriga-nos a pensar antes de executar, porque a madeira não permite grandes correções, tem tudo de estar pensado antes. Sendo esta uma das grandes funções do arquiteto, pensar antes de conceber.”* (Castanheira C., 2015)⁶.

O projeto é essencialmente composto por grandes estruturas em madeira com uma cobertura de duas águas que albergam dois picadeiros cobertos, um estábulo, um celeiro e um volume de serviços. A atividade equestre vai para além dos espaços supracitados, o que resultou num estudo da envolvente para a criação de um paddock⁷, picadeiro exterior, campo de salto, campo de treinos e percursos que proporcionam ao utilizador deste espaço uma vivência próxima da natureza.

O edifício principal subdivide-se em vários espaços com diferentes funções e dimensões, a construção menor, com 300 m², é composta no piso térreo por zonas administrativas, cozinha e zona de estar, seguindo-se um mezanino onde se localiza um quarto de hóspedes e um espaço de lazer. O restante projeto alberga um picadeiro que se localiza no edifício

⁵ Prémio Nacional de Arquitetura em Madeira.

⁶ Citação retirada da entrevista ao arquiteto pela AIMMP (Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal), disponível na plataforma Youtube.

⁷ Nome dado às boxes onde se encontram os cavalos.

de maior pé direito, 9 metros, e outro de tamanho mais reduzido direcionado para treinos específicos, ambos estabelecem acesso direto aos estábulos, vestiários e casas de banho.

O aproveitamento da ruína de pedra existente no local foi conseguido através do desenho de um café com duas casas de banho e esplanada. De modo a respeitar a originalidade da parede circular as intervenções neste espaço foram mínimas, e, à diferença do restante projeto, para este espaço foi projetada uma cobertura plana.

Por fim, a piscina distancia-se do edifício principal e estabelece proximidade com o lago e o campo de saltos, este volume encontra-se semi-enterrado na paisagem acompanhando o declive da mesma, assemelha-se ao centro equestre pela utilização da madeira e da cobertura com duas águas.

A estrutura do centro equestre é feita de madeira lamelada colada, pilares, vigas e cobertura. O arquiteto utiliza quatro tipos de pilares, o pilar único em “Y”, o pilar composto por três peças em “Y”, o pilar composto por três peças em “X” e o pilar único. Segundo a entrevista dada à AIMMP, “Foi o uso da madeira que eu privilegiei neste projeto, com umas dimensões bastante grandes, o resultado é de certa forma grandioso.” (Castanheira C., 2015)⁸.

Os diferentes pilares em GLT apresentam ângulos diferentes, alguns são perpendiculares à cobertura e criam 75° de inclinação com o solo, outros apresentam um ângulo de 125° sempre conectados através de ligações metálicas com os pilares principais. Os pilares não podem estar em contacto direto com o solo pela humidade proveniente do mesmo, para efeito, a chapa metálica serve para os afastar 25 centímetros do piso térreo, de modo a preservar o bom funcionamento da estrutura.

A estrutura da cobertura do picadeiro principal é feita através de vigas de 20x60 centímetros que descarregam o peso nos pilares de três peças em

⁸ Citação retirada da entrevista ao arquiteto pela AIMMP (Associação das Indústrias de Madeira e Mobiliário de Portugal), disponível na plataforma Youtube.

“X”, a ligação entre os mesmos é feita a partir de parafusos. Estas vigas no sentido transversal, seguem a inclinação da cobertura e unem-se à viga do cume, 20x40 centímetros, através de ligações metálicas conseguindo suportar um vão de 24 metros. Entre as vigas principais existe uma estrutura de madres⁹ com 10x12 centímetros no sentido longitudinal e, 8x16 centímetros no sentido transversal, esta subestrutura está ligada a barrotes de 10x10 centímetros. Entre os barrotes de madeira existe uma placa de contraplacado marítimo com 12 milímetros de espessura que reveste o isolamento térmico.

A estrutura da cafeteria é feita a partir de 8 apoios, com o intuito de criar uma cobertura solta da ruína, os pilares formam dois módulos de 8.48x8.48 metros, um que compõe o café e outro a esplanada. As vigas em GLT correspondem a dimensões de 20x30 centímetros e distribuem o peso da cobertura pelos pilares, tal como, as vigas que se encontram na diagonal e marcam os módulos. À semelhança da arena principal são utilizados barrotes de madeira de 12x20 centímetros, no sentido longitudinal e transversal formando uma malha quadrangular.

⁹ Estrutura secundária para o suporte de coberturas e fachadas.



Figura 40 Implantação.

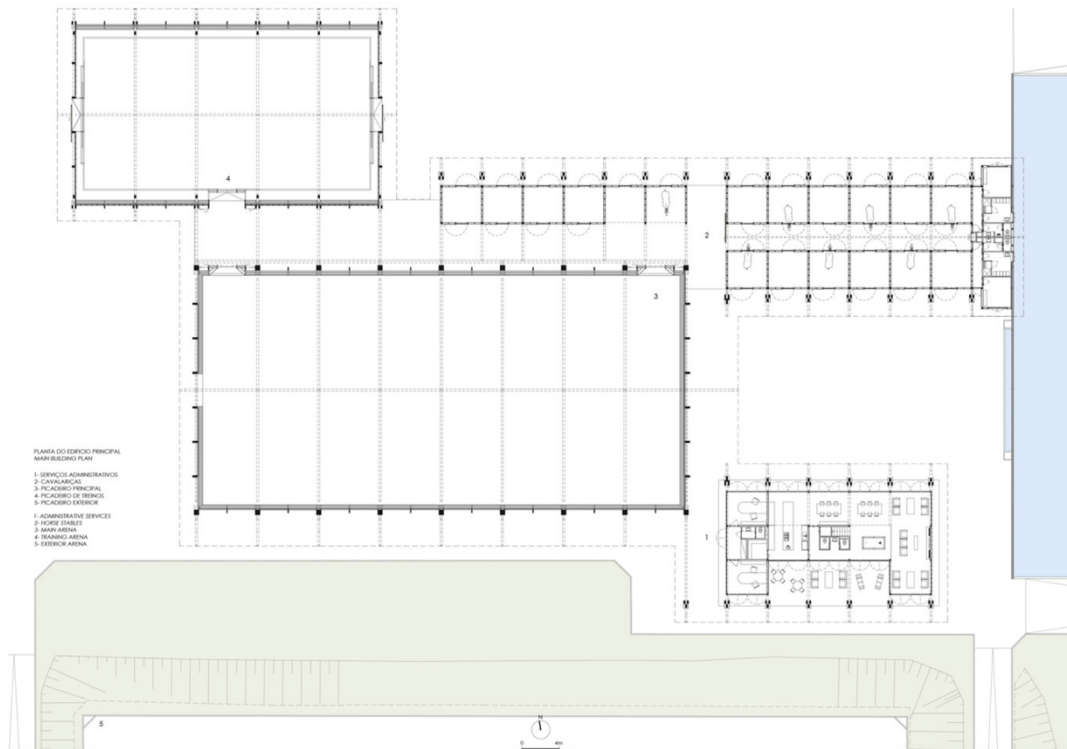


Figura 41 Planta Edifício Principal.

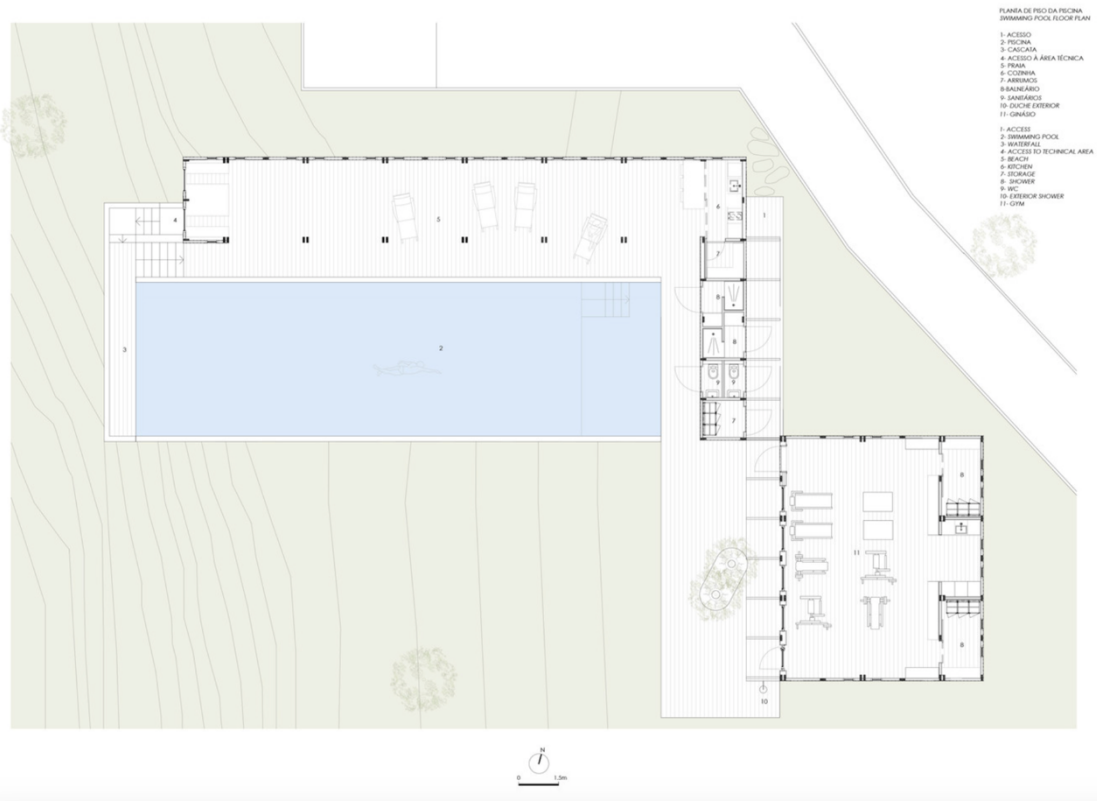


Figura 42 Planta Piscina.

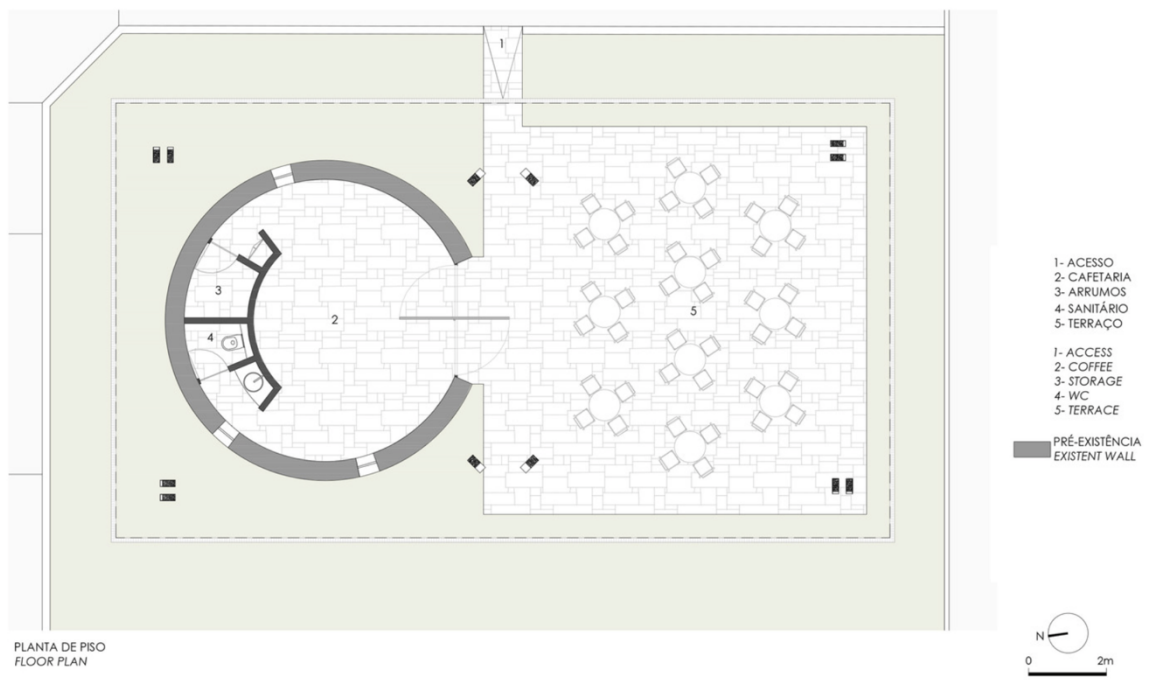


Figura 43 Planta café.

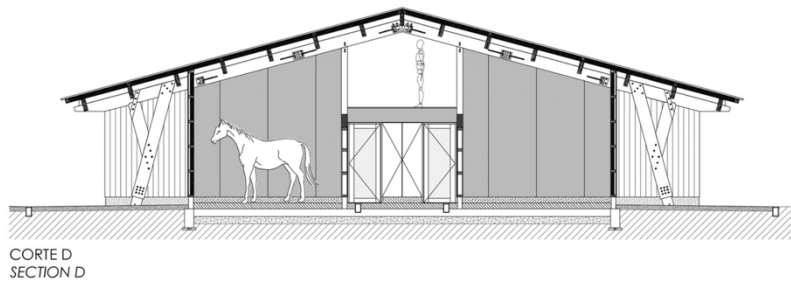


Figura 44 Corte Edifício Principal-Mezanino.

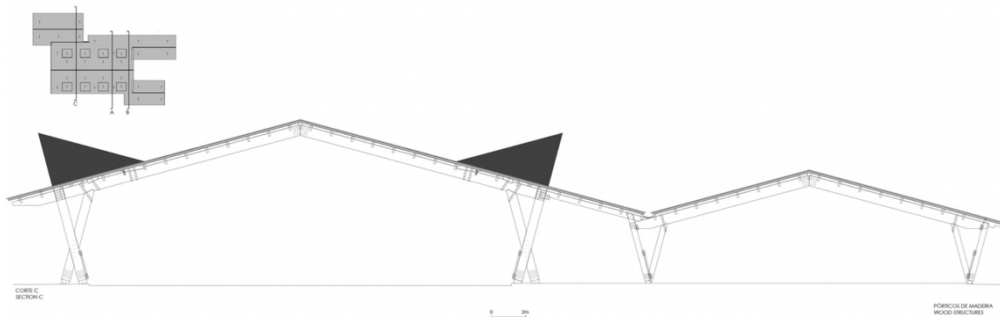


Figura 45 Corte Edifício Principal.

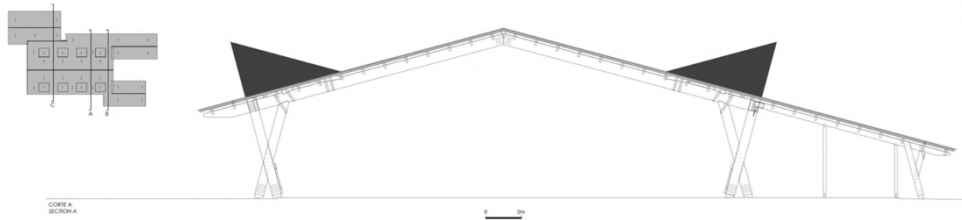


Figura 46 Corte Edifício Principal.

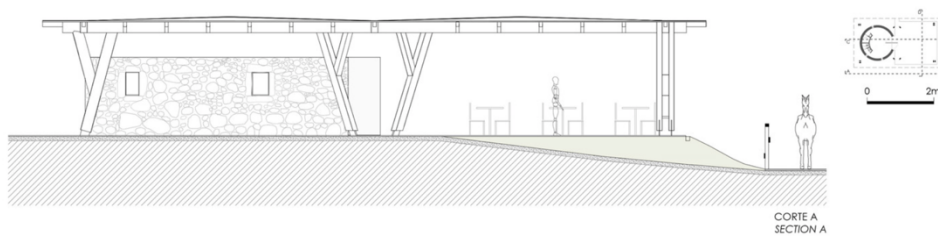


Figura 47 Corte pelo Café.

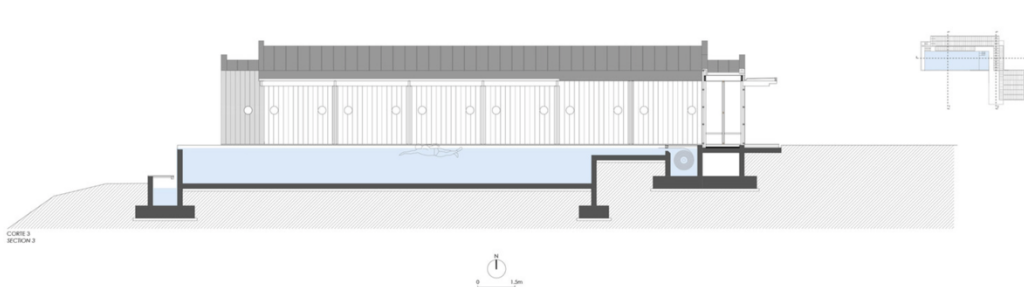


Figura 48 Corte pela Piscina.

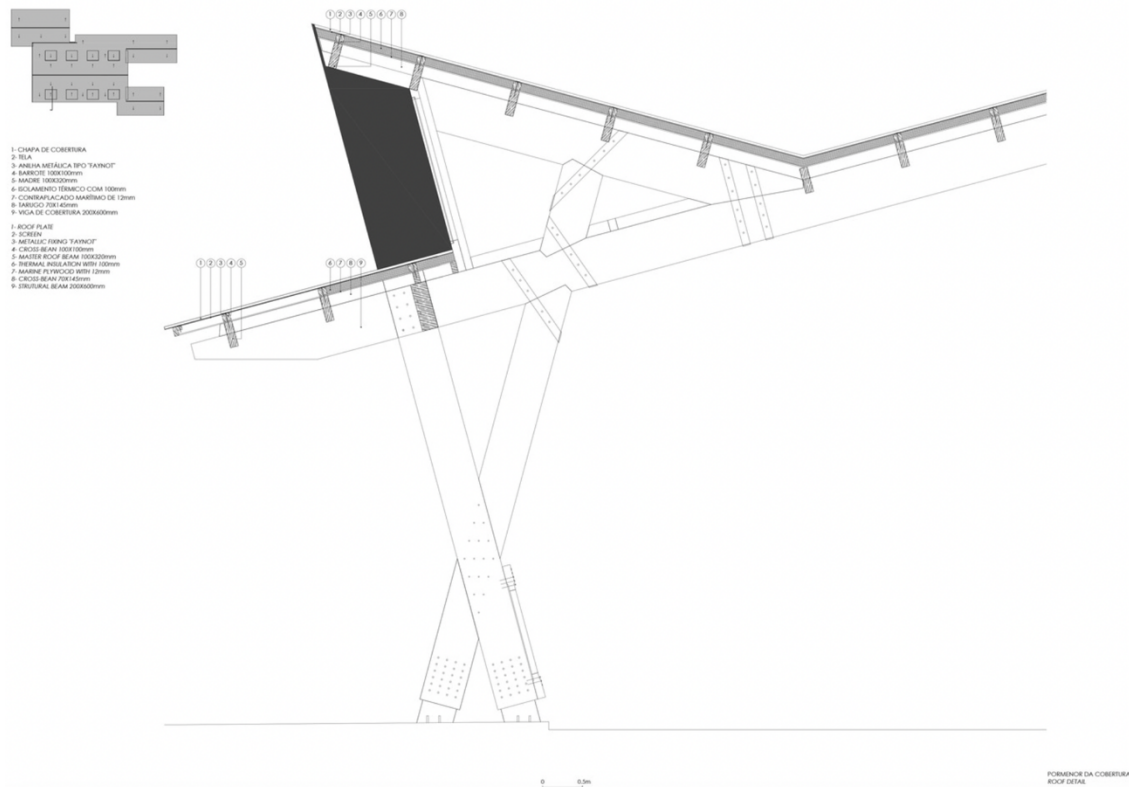


Figura 49 Detalhe Construtivo.



Figura 50 Fotografia do Edifício.



Figura 51 Fotografia do Edifício.



Figura 52 Fotografia do Edifício.



Figura 53 Fotografia do Edifício.



Figura 54 Fotografia do Edifício..

4.2 Wood Innovation Design Centre

Arquiteto: Michael Green.

Ano: 2013.

Área: 4820 m².

Programa: Educacional.

Localização: Prince George, Canadá.

O wood innovation design centre foi projetado pelo arquiteto Michael Green na cidade de Prince George, no Canadá. Foi concebido com o intuito de promover o conhecimento acerca da madeira lamelada, reforçar a experiência do seu uso e aumentar as oportunidades de exportação destes materiais. O projeto foi iniciado no ano de 2013 com a cofragem do piso térreo, e, passado um ano e meio, deu-se por concluída.

Este edifício alberga o mestrado em engenharia e design integrado em madeira em parceria com a University of Northern British Columbia e o centro de inovação em design e empreendedorismo lançado pela Emily Carr University of Art and Design. Para efeito, as instalações académicas possuem um laboratório de pesquisa e ensino que permite a fabricação de produtos em madeira, um auditório, salas de aula e de estudo, sala destinada à reunião de docentes, serviços e escritórios privados ligados à indústria madeireira.

Em termos construtivos, o núcleo do edifício foi projetado em CLT, sendo constituído por poços de elevadores, escadas e corredor de serviço mecânico. As placas de CLT que constituem estes elementos foram ligadas a partir de conectores metálicos, parafusos auto-roscentes, de modo a criar paredes de cisalhamento¹⁰ contínuas. Estas paredes são ancoradas às fundações a partir de uma combinação de suportes de cisalhamento conectados aos painéis por parafusos auto-roscentes e âncoras de fixação,

¹⁰ Elementos verticais que resistem a forças laterais, como ventos fortes.

sistema dúctil HSK¹¹.

No que toca à fixação dos elementos em madeira à laje de betão foram embutidas umas placas metálicas no pavimento correspondendo a uma base de pilar, deste modo, as peças saíram de fábrica já prontas para serem colocadas ao sítio, com os conectores prontos a serem soldados. A estrutura integra vigas e pilares em GLT que, são sobrepostas uns sobre os outros em sistema balão, esta técnica faz com que haja uma transição de carga bidirecional ajudando no suporte das lajes e da restante estrutura.

O piso deste edifício é inovador face às construções em madeira lamelada até então. Este pavimento consiste em dois painéis de CLT com um vão livre entre eles, unidos através do sistema de ligação HSK que, envolve cortes curtos nas placas originando um corte vertical contínuo. É colocada uma placa de metal perfurada no sítio dos cortes e preenchem-se os espaços vazios com cola epóxi¹², com o objetivo de fortificar a estrutura das lajes.

Para a execução do pavimento foi instalado um contra-piso sobre as cavidades superiores do painel para que se pudesse proceder à montagem da estrutura como também à passagem de infraestruturas entre as placas de CLT. Em relação aos acabamentos, no pavimento, foi aplicado um contra-piso acústico revestido por um piso de acabamento, já os tetos foram revestidos por ripado de madeira.

Para este edifício foi seguida a metodologia adotada no “Manual do CLT” canadense no que toca à segurança contra incêndios, o CLT é tratado para ter uma resistência considerável ao fogo, que se deve à taxa lenta de carbonização quando a madeira está exposta a altas temperaturas. À madeira nos poços de escadas e elevado foi-lhe aplicado um acabamento retardador do fogo e vedadas todas as juntas para tornar o espaço encerrado

¹¹ O sistema HSK é dúctil, pois as peças de aço geralmente, são projetadas para deformar antes que o adesivo ou a madeira falhem.

¹² A cola epóxi, também conhecida por como poliepóxido, não amolece com o calor.

não havendo, em caso de incêndio, saída de fumo entre as juntas das placas de CLT.

A nível de acabamentos exteriores, as fachadas são compostas por vidros laminados apoiados numa estrutura de madeira laminada verticalmente (LVL). Os painéis isolados estruturais (SIPs) presentes nas fachadas, são revestidos por madeira de cedro vermelho ocidental carbonizado em fábrica, o que lhe confere um pigmento escuro.



Figura 55 Fotografia do Edifício.

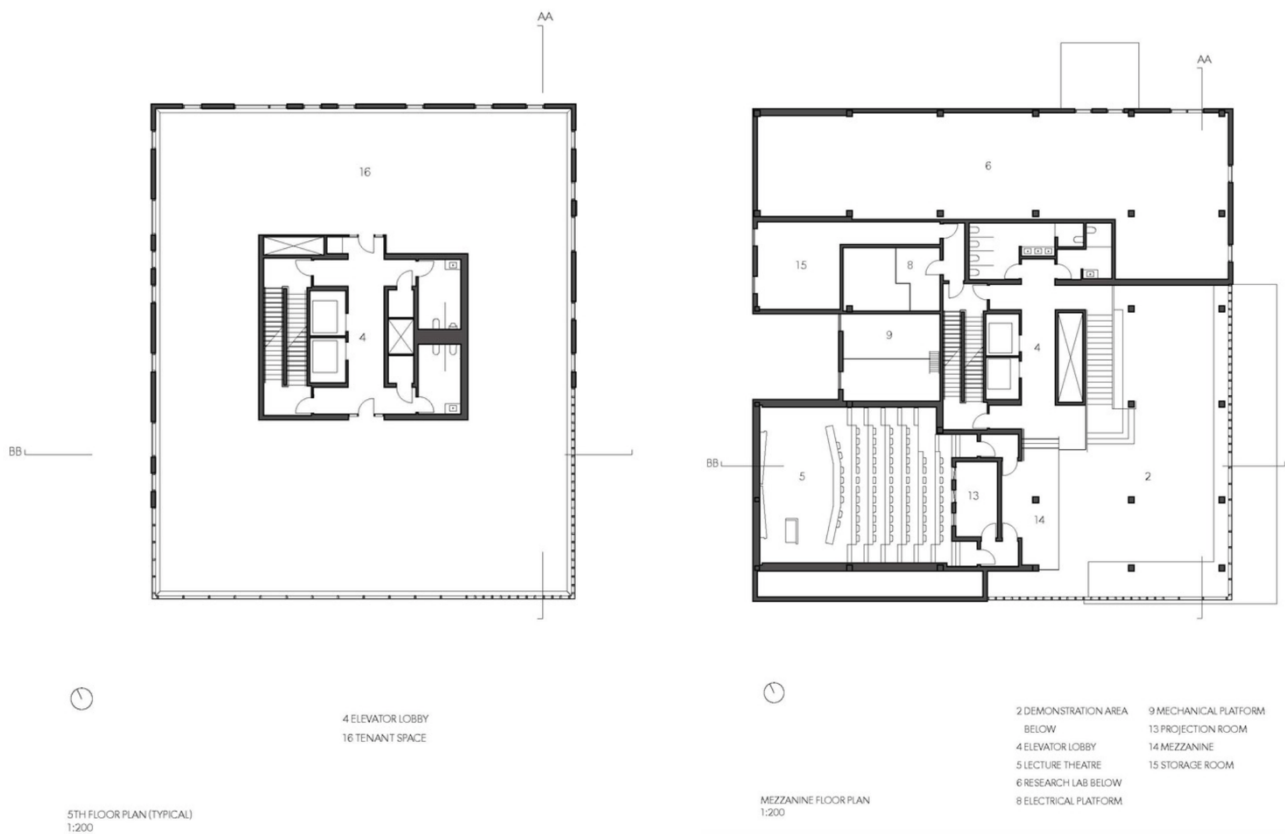


Figura 56 Planta tipo pisos.



Figura 57 Modelo 3D constituição do Edifício.

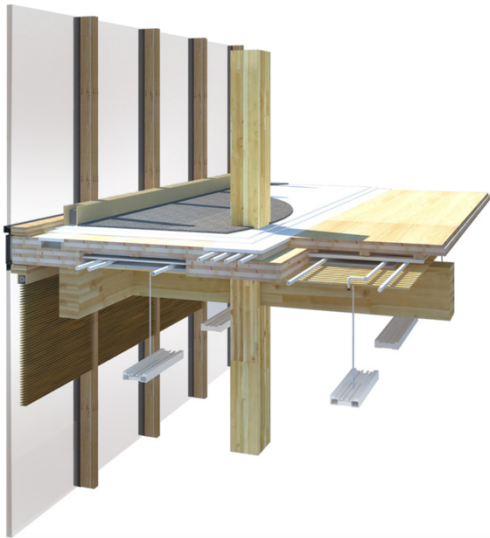


Figura 58 Detalhe Construtivo.



Figura 59 Fotografia Interior do Edifício.



Figura 60 Fotografia do Interior do Edifício.

4.3 Freeman's School Swimming Pool

Arquiteto: Hawkins/Brown.

Ano: 2017.

Área: 1750 m².

Programa: Desportivo.

Localização: Condado de Surrey, Reino Unido.

Este edifício foi construído em 2017 pela autoria do escritório de arquitetos Hawkins/Brown, e, situa-se no condado de Surrey no Reino Unido. A implantação do complexo desportivo foi estudada de modo a preservar as árvores já existentes no local, sendo este um dos motivos que levaram à decisão de enterrar ligeiramente o projeto. Esta opção veio possibilitar o equilíbrio visual e a relação de escalas entre o construído e o meio natural envolvente.

O complexo desportivo alberga uma nave com uma piscina de pé direito duplo e 25 metros de comprimento. Os serviços são divididos por dois andares albergando, balneários femininos e masculinos, casas de banho e zonas técnicas na proximidade da piscina e no piso superior, uma receção, uma sala de aula e outra polivalente.

A nível construtivo, o betão, está presente nas fundações do edifício, na laje do piso térreo e no piso da entrada que, por sua vez se encontra semienterrado. Como já foi referido anteriormente, em sistemas construtivos de madeira pré-fabricada é fundamental haver uma proteção da mesma contra as humidades provenientes do solo para não comprometer o bom funcionamento estrutural da mesma.

A estrutura é composta por pilares e vigas em GLT que suportam a cobertura da zona da piscina, por sua vez, a maior área do edifício. As vigas são assimétricas e dividem-se em 3 peças, unidas através de placas metálicas embutidas na própria madeira, por sua vez aparafusadas ao teto, tratando-se de uma ligação oculta. Para ligação entre pilares e vigas é embutida uma cantoneira na viga aparafusada ao pilar através de parafusos sextavados, mais uma vez, o arquiteto optou por deixar a peça de madeira no seu estado natural, sem conexões à vista.

A ligação dos pilares à laje da piscina é feita de duas formas distintas, a mais convencional presente em duas fachadas, onde o pé metálico é embutido na laje e cravado à madeira, distanciando a estrutura 5 centímetros do pavimento. A segunda opção distingue-se pelo pilar apoiar diretamente no pavimento de um sub piso, que se encontra acima da cota da laje da piscina.

É de salientar que os pilares junto das fachadas laterais se unem por uma tábuia de GLT que serve de banco para quem assiste às aulas, num dos lados foi criado o sub piso supracitado com o intuito de criar dois patamares de bancos, uns na cota da piscina e outros a uma cota superior que servem também para a passagem de infraestruturas, neste caso, insuflação junto ao vidro para evitar condensações.

Por fim, a cobertura é composta por uma placa em CLT, ao qual estão fixadas as vigas, uma camada dupla de isolamento, revestida a zinco. Este último material faz o revestimento de toda a cobertura e também está presente nos alçados, uma vez que, acompanha os vãos minimizando o pé direito da fachada cortina.



Figura 61 Implantação.



Figura 62 Fotografia do Edifício.

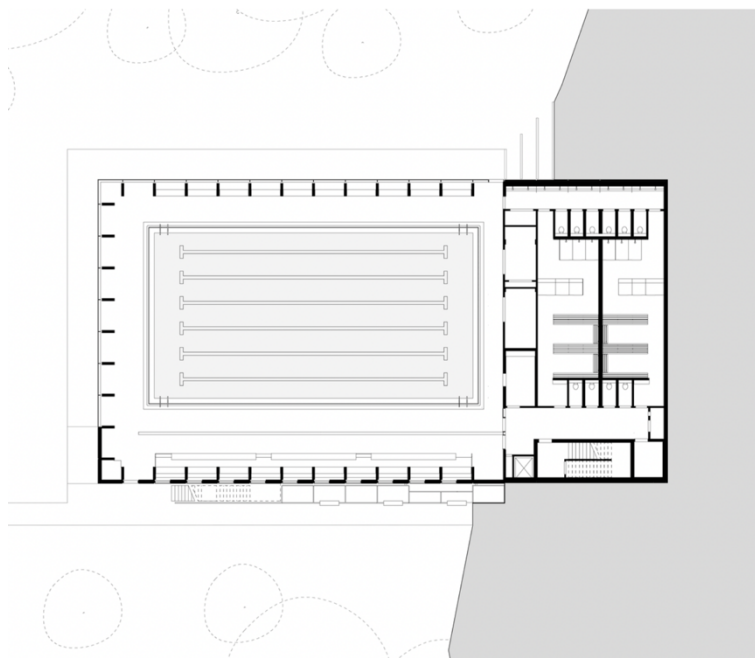


Figura 63 Planta Piso -1.

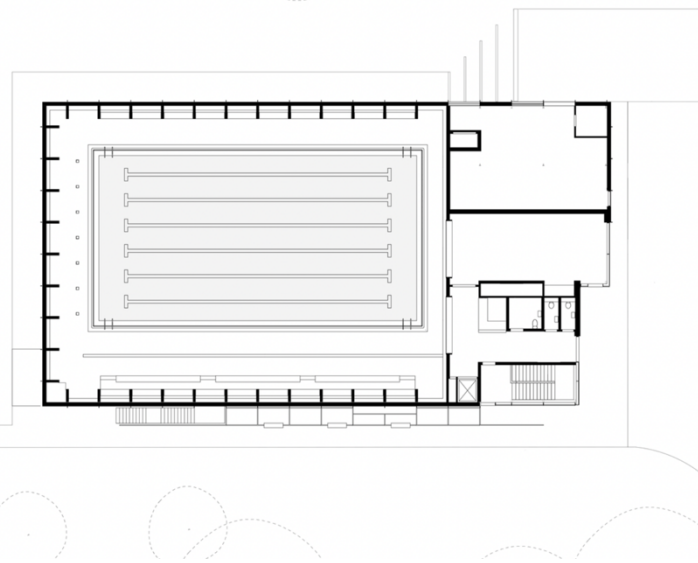


Figura 64 Planta Piso 0.

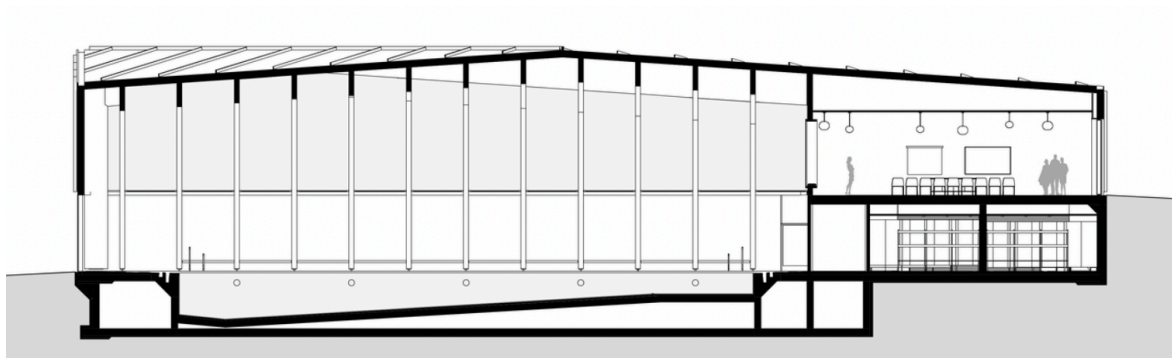


Figura 65 Corte Edificio.

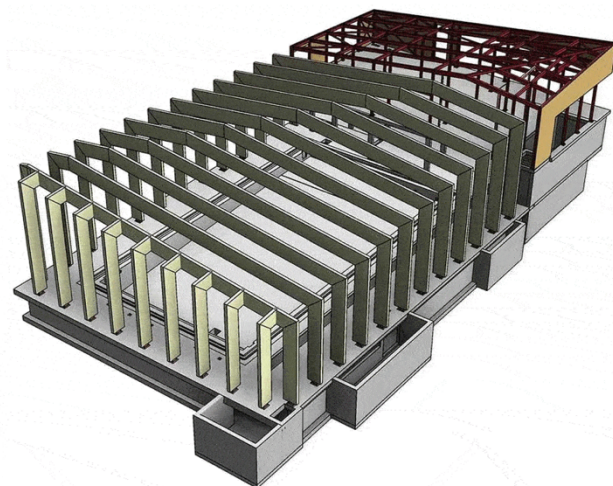


Figura 66 Modelo 3D Estructura.

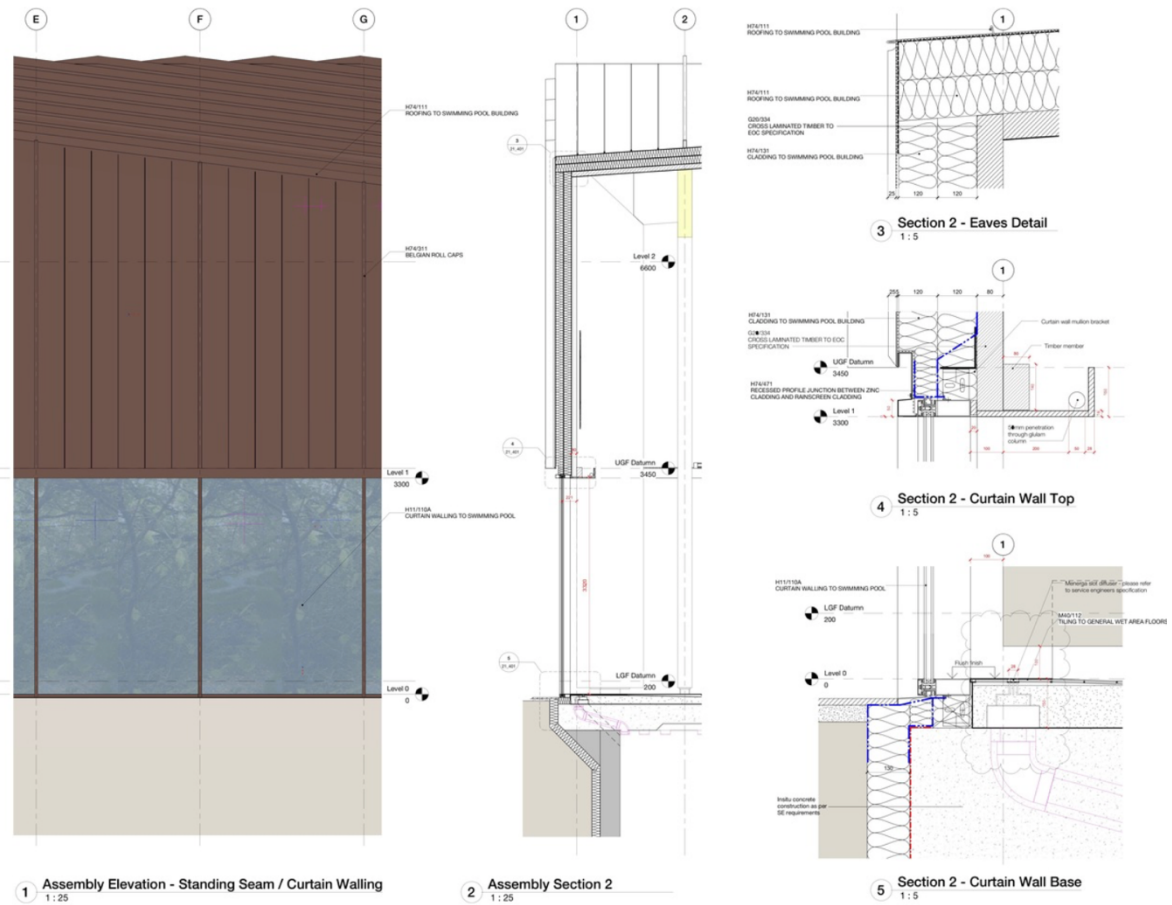


Figura 67 Detalhe Construtivo Alçado/Corte.



Figura 68 Fotografia Nave da Piscina.

Detail 1, Scale 1:10
Standarddetail Ridge

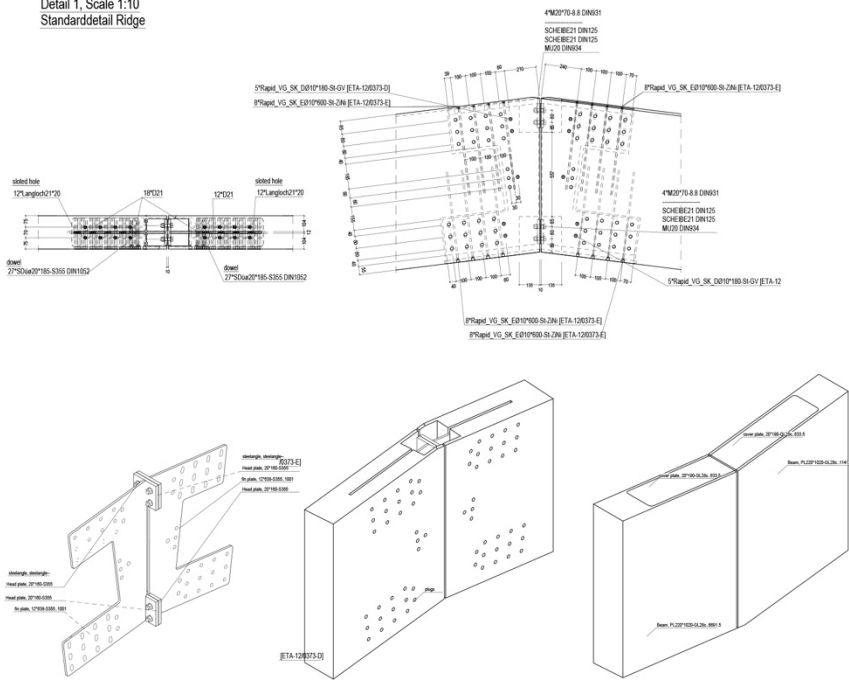


Figura 69 Detalhe Construtivo Vigas.



Figura 70 Fotografia Interior.



Figura 71 Fotografia bancos, insuflação junto ao caixilho.

CAPÍTULO V
ANÁLISE COMPARATIVA




Em complemento ao estudo feito acerca da madeira engenheirada, CLT e GLT, é necessária uma análise comparativa das diferentes soluções adotadas por cada arquiteto. Os três projetos previamente citados foram fundamentais para a compreensão deste sistema construtivo, uma vez que, o pretendido é perceber as limitações do material de forma a usufruir das mais valias do mesmo em simultâneo com o pensamento arquitetónico.

O Centro Equestre em Matosinhos adota uma grande estrutura em madeira lamelada colada, composta por pilares e vigas que sustentam uma cobertura de duas águas. É notório neste projeto o impacto visual que a estrutura em madeira provoca, *“Todo o edifício pretende ser função e conforto. A estrutura define espaços e funções, é tosco e acabado. Esta define a obra, pois qualquer elemento é estrutura e também espaço.”* (Castanheira C., 2014).

Este projeto utiliza vários tipos de pilares, como por exemplo, pilar único em “Y” e composto por três peças em “X” com diferentes ângulos. Por oposição, os pilares utilizados no Wood Inovation Design Centre, encontram-se sobrepostos em sistema balão com o objetivo de haver uma transição de carga bidirecional, a ligação entre peças é feita por porcas metálicas e encontra-se oculta. Posto isto, o arquiteto Carlos Castanheira prioriza a imagem como já foi referido anteriormente, enquanto, Michael Green estuda um sistema estrutural eficiente com uma aparência natural no qual o objetivo é conseguir suportar uma nova tecnologia de lajes em CLT.

O projeto *“Freemen’s School Swimming Pool”* caracteriza-se por uma estrutura de pilares e vigas em GLT que suportam uma cobertura plana em CLT formando uma nave ampla. De modo a vencer o vão, as vigas dividem-se em três peças que acompanham a curvatura da cobertura, unidas através de placas metálicas que se encontram embutidas na própria estrutura e estão aparafusadas ao teto de forma oculta. Na ligação entre pilares e vigas é embutida uma cantoneira na viga e aparafusada ao pilar através de parafusos, mais uma vez o arquiteto opta por deixar as peças de madeira sem conexões à vista, tal como acontece no Wood Inovation Design Centre.

Por oposição, no Centro Equestre, a cobertura é composta por uma subestrutura de madres no sentido longitudinal e transversal fixada com barrotes através de cantoneiras metálicas. No picadeiro principal as vigas no sentido transversal seguem a inclinação da cobertura e unem-se à viga do cume através de ligações metálicas. O peso das mesmas é descarregado em pilares de três peças em “x” através de parafusos, deste modo, todas as ligações encontram-se visíveis.

INFORMAÇÕES	PROJETO	 Centro Equestre	 Wood Innovation and Design Centre	 Freemen's School Swimming Pool	
	ANO	2015	2013	2017	
	ÁREA	4600m ²	4820m ²	1750m ²	
	PROGRAMA	Deportivo	Educational	Deportivo	
	CIDADE	Matosinhos	Prince George	Condado de Surrey	
	PAÍS	Portugal	Canadá	Reino Unido	
	ARQUITETOS	Carlos Castanheira	Michael Green	Hawkins/Brown	
	CONEXÕES PILARES VIGAS	GLT	●	●	●
		GLT	●	●	●
		INTERNAS		●	●
EXTERNAS		●			
PAREDES	CLT		●	●	
	WOODFRAME	●			
	BETÃO			●	
COBERTURA	CLT		●	●	
	CONTRAPLACADO MARÍTIMO	●			

Quadro 1 Análise e Comparação dos casos de estudo.

CAPÍTULO VI
REFLEXÃO SOBRE O PROJETO

Esta dissertação decorre em paralelo com o exercício de Projeto 5, que se encontra fundamentado através do contexto teórico apresentado até ao momento. É de salientar que os casos de estudo previamente analisados foram escolhidos como importantes ferramentas no desenvolvimento da estrutura do projeto.

A proposta de intervenção consiste no tratamento de um Parque Urbano e na projeção de um Complexo Desportivo com Restaurante na antiga Central do Gás na Foz do Douro. A área em estudo contém aproximadamente 10 500 m² e está delimitada pela Rua do Aleixo, Rua Carvalho Barbosa e a Rua da Mocidade da Arrábida que desaguam na Rua do Ouro, marginal do rio Douro. O terreno em estudo apresenta um desnível com cerca de vinte e cinco metros entre a cota mais baixa e a cota mais alta, sendo a mais baixa seis metros e a mais alta trinta e dois metros.

Os aspetos mais relevantes na escolha da implantação do projeto foram três, a escarpa pela sua dimensão, a frente ribeirinha e as pré-existências que delimitam a frente do terreno e representam uma época bastante importante no desenvolvimento industrial da cidade do Porto.

Dos três edifícios existentes, perante a figura 83, foi demolido o volume A libertando a frente de rua e os restantes, C e B, foram reabilitados. O programa do restaurante foi projetado no volume B, que se encontra paralelo à Rua Mocidade da Arrábida e, é constituído por dois edifícios de naves retangulares com alturas diferentes.

Foi desenvolvido um projeto que consegue cumprir todas as necessidades de um Complexo Desportivo como também aproveitar pré-existências e redesenhar um espaço público de grande potencial para a cidade. Posto isto, o Complexo Desportivo necessita de alguns espaços específicos para desempenhar as funções a que se destina, assim devem incluir: zonas administrativas, receção, spa, ginásio, balneários, arrumos e serviços, zonas de pessoal, piscinas interiores e piscina exterior.

O Complexo Desportivo foi projetado de modo a albergar não só os utilizadores do mesmo como também todos aqueles que usufruem do parque, através da inserção de um café público e zonas de lazer.

Em função dos aspetos mais relevantes do local, o edifício foi implantado a uma cota alta segundo a ideia de fazer uma “ponte” entre encostas. O paralelepípedo de grande comprimento divide-se em dois volumes que partilham a mesma cobertura e permitem uma travessia pedonal entre eles. O edifício encontra-se semi-enterrado e não interfere na leitura de quem está no vale a ver o rio.

O acesso principal ao parque urbano é feito a partir da Rua do Ouro, figura 75, ligando o restaurante e o mercado a partir da cota mais baixa, assim como, a ruína nas fachadas norte e sul. O percurso, figura 72, intersecta o acesso da Rua do Aleixo, passa pelo volume do complexo desportivo e, através de uma escadaria desagua na Rua Carvalho Barbosa. A partir do estacionamento criado na Rua da Mocidade Portuguesa é feito um acesso direto ao edifício. A vegetação de maior densidade encontra-se nos topos do vale, figura 74, com a criação de clareiras a acompanhar o desnível das ruas, e nas zonas planas de proximidade ao rio são projetadas zonas apenas de relvado.



Figura 72 Implantação e Arranjos Exteriores.

A organização do programa no Complexo Desportivo divide-se em dois pisos. No piso da entrada, figura 79, localizam-se áreas de carácter público e de serviços, já no piso inferior encontram-se espaços de carácter privado. O piso da entrada situa-se na cota 19.6, com um pé direito de 3.60 metros, e, alberga receção, café público, serviços administrativos, salas de pessoal e salas de massagem. À cota 16.0, figura 80, localizam-se os balneários de usuários e monitores, ginásio, piscinas interiores e exterior. Neste piso a circulação resume-se a corredores de pés secos e molhados, e o acesso à piscina exterior é feito a partir dos tanques interiores que se situam na nave principal, com 7,2 metros.

QUADROS DE ÁREAS (M²)

A - GINÁSIO E PISCINAS	1892
1 - Piscinas	992
1.1 - Tanque descoberto (área aproximada 40x15m)	600
1.2 - Tanque coberto de aprendizagem (10x8m)	80
1.3 - Tanque coberto para formação (25x8m)	200
1.4 - Tanque coberto lúdico/terapêutico (área aproximada 10x8m)	80
1.5 - Tanque coberto destinado a crianças (8x4m)	32
2 - " Health Club"	150
3 - Ginásio	200
4 - Balneários/ Vestiários/ Instalações sanitárias	250
5 - Espaços Complementares	300
5.1 - Recepção	
5.2 - Bar	
5.3 - Sala de professores (piscinas)	
5.4 - Sala de monitores (ginásio)	
5.5 - Serviços administrativos	
5.6 - Arrecadações diversas	
5.7 - Posto de primeiros socorros/gabinete médico	
5.8 - Vestiários de pessoal	
B - RESTAURANTE/BAR	300
1 - Restaurante/Bar	300
1.1 - Sala de refeição	125
1.2 - Bar	75
1.3 - Cozinha	75
1.4 - Vestiários (15 m ²)	15
1.5 - Arrumos (10 m ²)	10
C - PARQUE URBANO	

Figura 73 Quadro de Áreas

Em relação às pré-existências, foi incluído um mercado no edifício mais baixo e de um só piso, possibilitando a deambulação entre bancas e utilização de pequenas zonas de lazer. O edifício de maior pé direito, com dois pisos, alberga a uma cota mais baixa as lojas do mercado, arrumos do restaurante e mercado, escritório e recepção do restaurante. O piso superior está destinado apenas ao restaurante e engloba cozinha, arrumos, copa, bar e uma sala de refeições.

As Unidades de Tratamento de Ar (UTA) do edifício principal localizam-se na zona técnica que se encontra no topo do edifício, por sua vez, distribuem condutas para os balneários no piso inferior e para a cobertura. A extração e insuflação na nave das piscinas é feita por condutas na

cobertura que fazem a renovação do ar a partir de difusores no teto, e, por acréscimo foram projetados bancos ao longo do alçado sul que permitem insuflação pelo pavimento junto ao caixilho. À semelhança o piso da entrada também recorre a difusores no teto para realizar a insuflação dos espaços.

Em relação às pré-existências, existiu cuidado para a adição de novos elementos não ser intrusiva nos alçados. Com efeito, as UTAS foram pousadas à cota 6.0 no alçado norte, assim, as condutas de insuflação e extração são colocadas visíveis ao longo da fachada seguindo o traçado das aberturas dos topos. As condutas são visíveis pelo interior dos edifícios e estão fixadas às asnas através de ligadores metálicos.

A estrutura em madeira lamelada colada suporta a ideia inicial do projeto que consiste numa nave de grandes dimensões marcada por um ritmo de pilares e um pórtico de entrada caracterizado pela mesma imagem. O piso de entrada e a laje dos balneários foi projetada em betão devido a suscetibilidade que a madeira apresenta quando entra em contacto com a humidade do solo. O esquema estrutural divide-se em 3 conjuntos de pilares, com 20x60 cm, dois que se encontram a apoiar a nave das piscinas interiores, com 6.6 metros de altura, e os restantes marcam a entrada no edifício, com 3 metros de altura.

À semelhança dos pilares, as vigas têm, as mesmas medidas e caracterizam-se por um comprimento de 25 metros. A ligação entre pilar e viga é concebida por uma chapa metálica aparafusada com parafusos auto-roscentes. As vigas encontram-se fixadas à laje de cobertura em madeira lamelada colada cruzada (CLT) com 12 cm de espessura, por cima deste painel, é aplicada uma barreira pára-vapor, e, de seguida, o isolamento com 8 cm. Toda a cobertura do edifício é revestida a chapa de zinco, este material dobra nos topos para proteger a laje de CLT de entrar em contacto com a água da chuva.



Figura 72 Fotografias da Área de Intervenção.



Figura 75 Fotografias da Área de Intervenção.

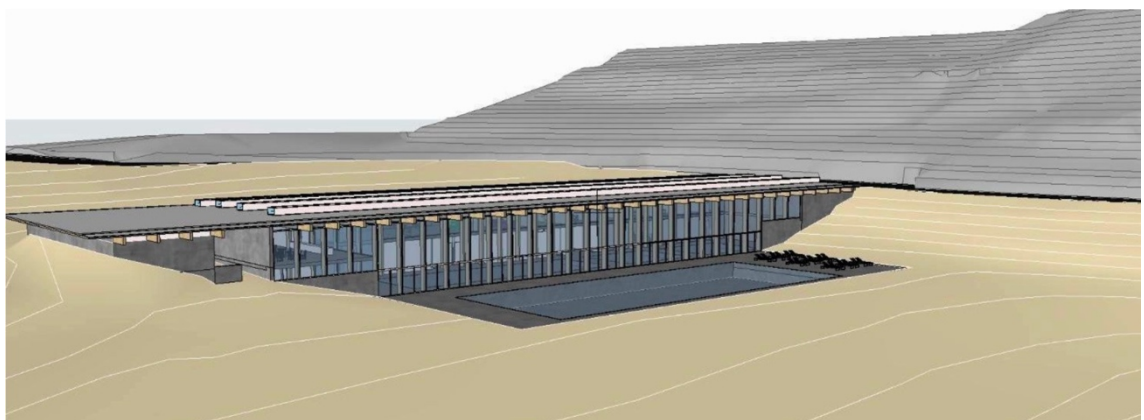


Figura 76 Modelo 3D Projeto.

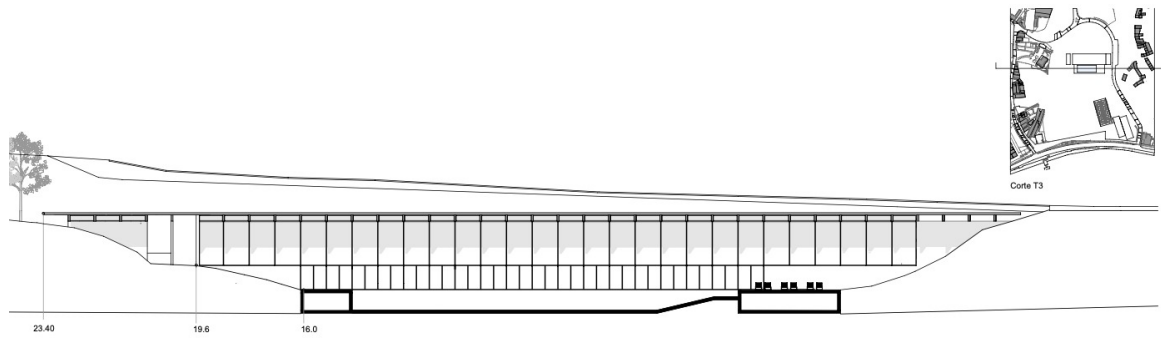


Figura 77 Corte longitudinal pela piscina exterior.



Figura 78 Corte Transversal.

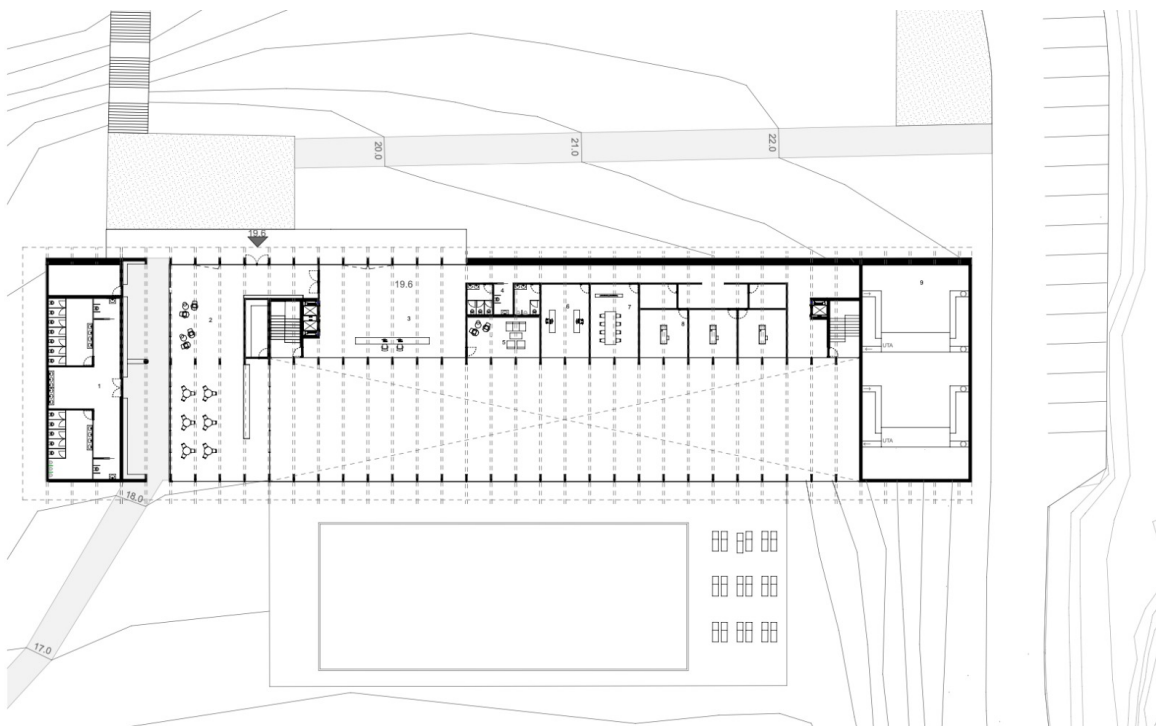


Figura 79 Planta Piso 0 Cota 19.6.

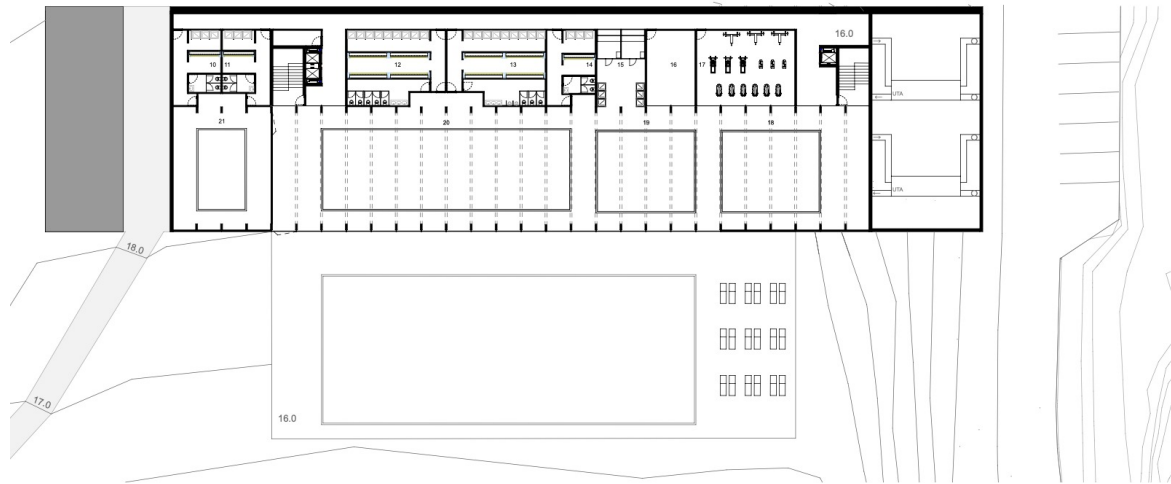


Figura 80 Planta piso -1 Cota 16.0.

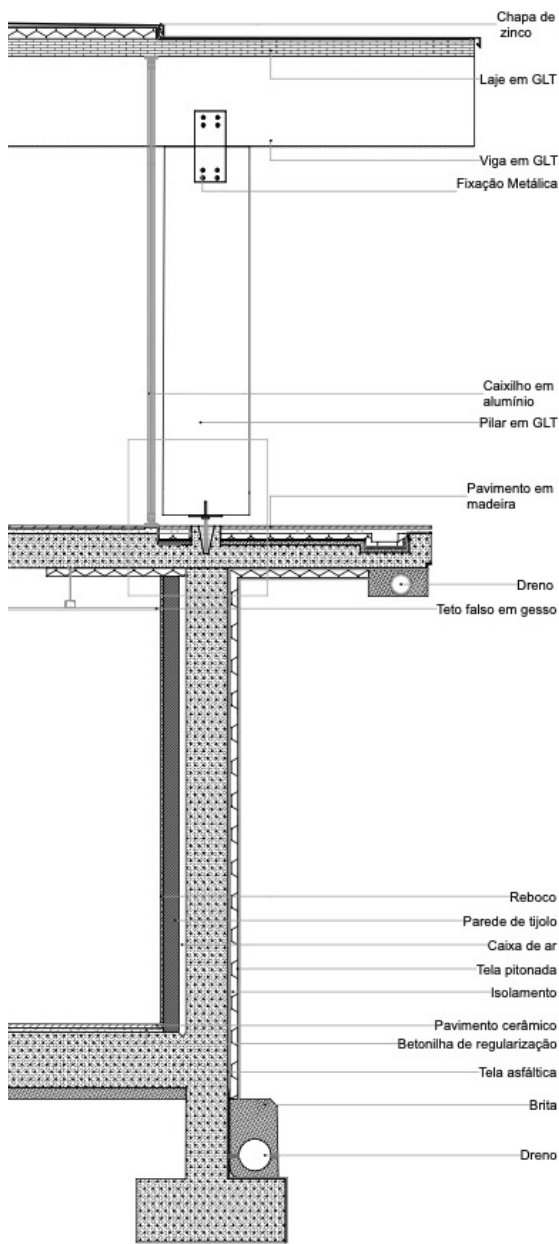


Figura 81 Corte Construtivo.

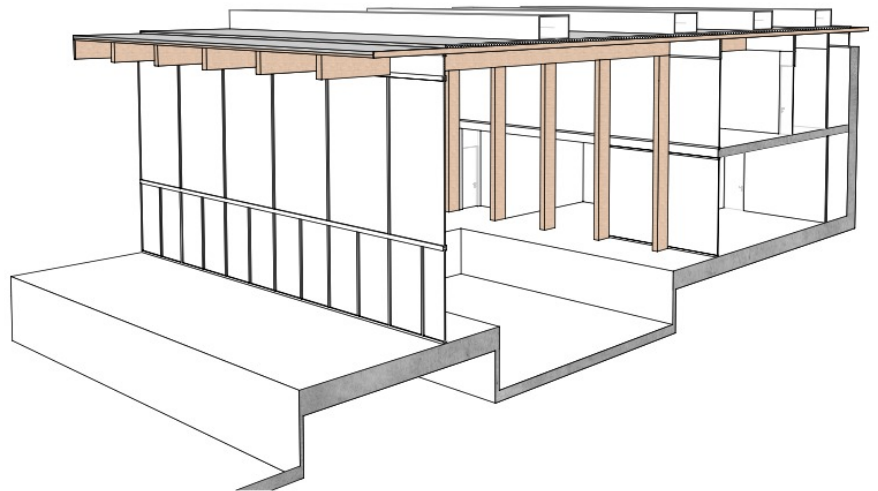
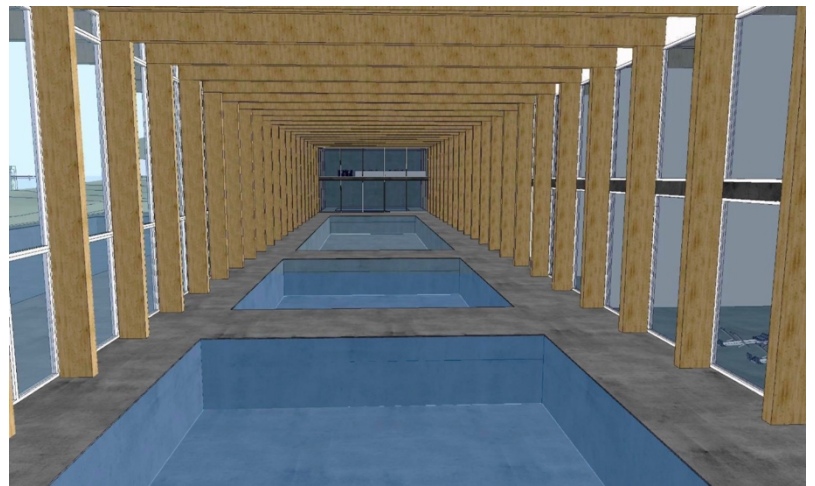


Figura 82 Modelo 3D e Axonometria com Corte Construtivo.

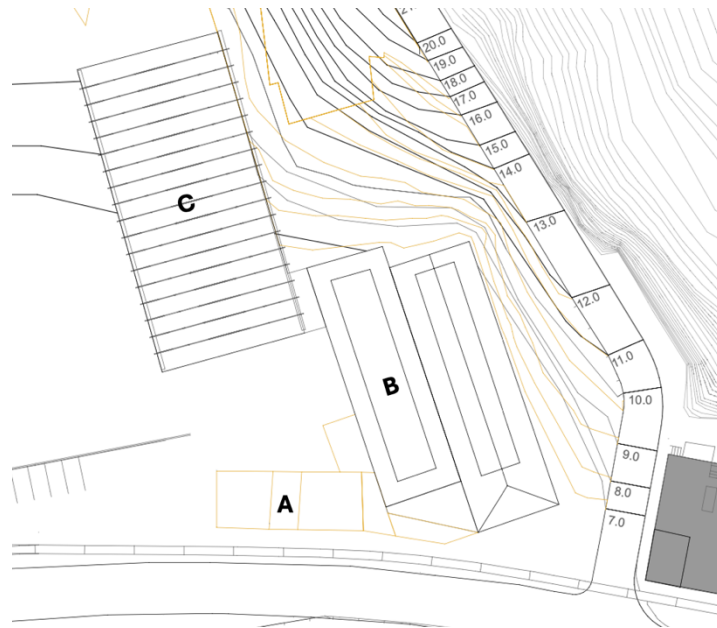


Figura 83 Implantação Pré-Existências.

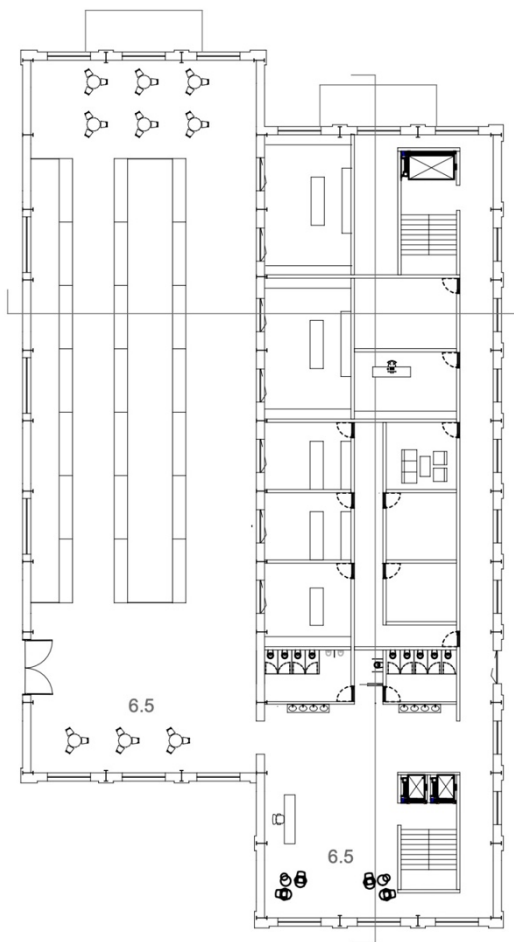


Figura 84 Planta Piso 0 Cota 6.5.

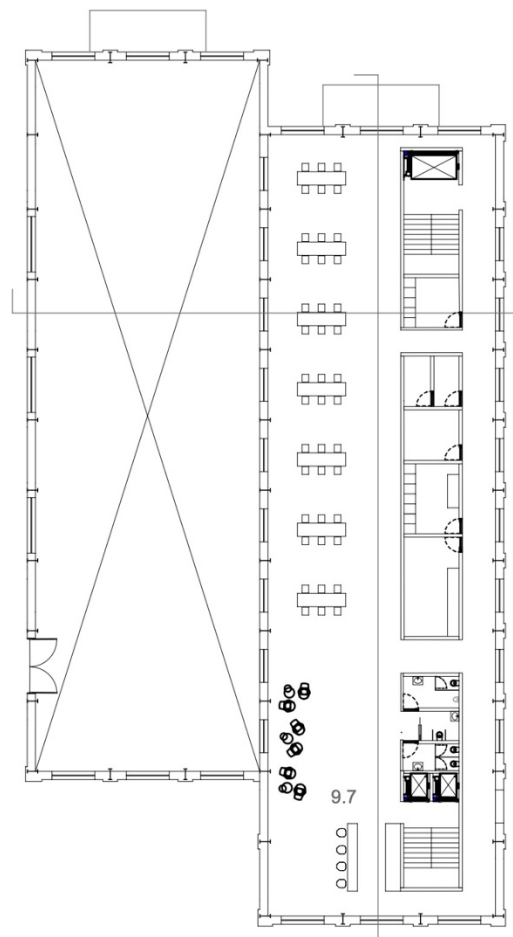


Figura 85 Planta Piso 1 Cota 9.7.

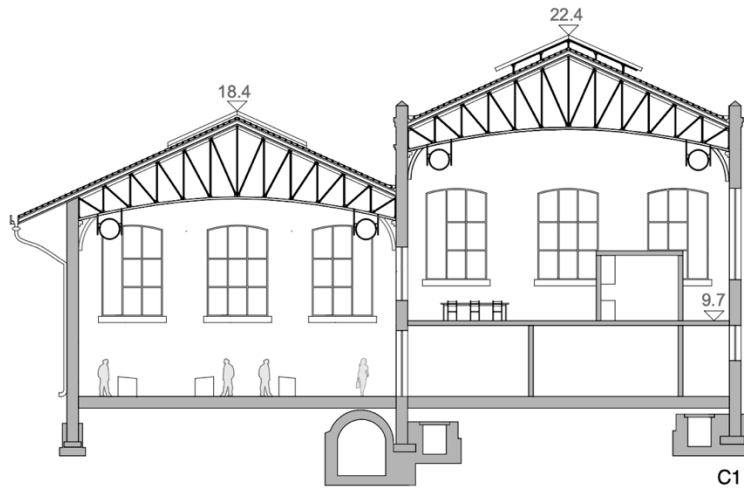


Figura 86 Corte Transversal.

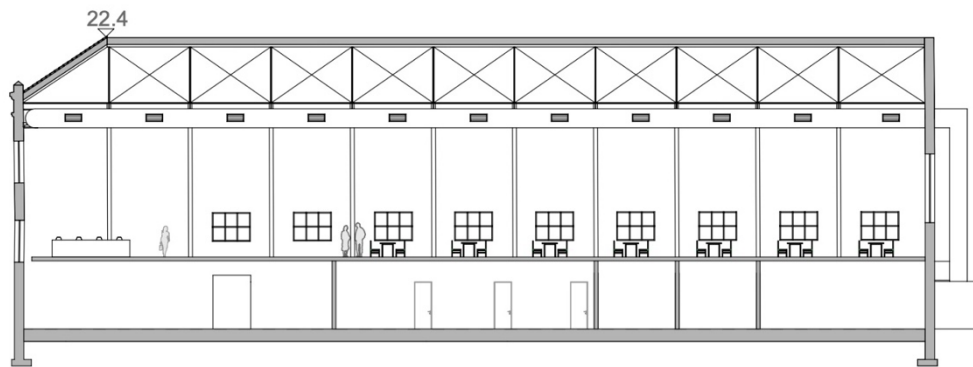


Figura 87 Corte Longitudinal.



Figura 88 Maquete Complexo Desportivo.



Figura 89 Maquete Complexo Desportivo.



Figura 90 Maquete Corte Construtivo Complexo Desportivo.



Figura 91 Maquete Corte Construtivo Complexo Desportivo.

CAPÍTULO VII
CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo desta dissertação é demonstrar e refletir sobre o uso do CLT e GLT na arquitetura, salientando tanto a sua promoção na construção como também, a ampliação de conhecimento pessoal. Pretende-se que este trabalho possa ser uma ferramenta útil para arquitetos, no auxílio à correta conceção da utilização da madeira lamelada. Finalmente, os conhecimentos obtidos no estudo deste tema foram conciliados em simultâneo, com a projeção de um Complexo Desportivo para a unidade curricular de Projeto V.

Os métodos construtivos em estudo retiram elevados benefícios da construção industrializada, assim, consegue-se minimizar o índice de erros na fase de aplicação em obra e encurtar prazos de execução. Para efeito, é necessário conhecer as limitações do CLT e GLT, a fim de utilizar a capacidade máxima dos mesmos. No desenvolvimento do trabalho refletiu-se que o transporte da madeira lamelada é uma desvantagem como também, a limitação de medidas de cada peça, que, pode ser ultrapassada através de ligações dependendo da necessidade de cada projeto.

Numa análise mais aprofundada, e, relativa ao panorama atual do uso do CLT e GLT no contemporâneo, conclui-se que a sua construção está bastante presente no Norte da Europa e, apresenta uma menor relevância a nível nacional. Este facto prende-se à falta de informação por parte dos arquitetos perante as capacidades construtivas que estes sistemas construtivos acarretam. No entanto, ao longo da presente dissertação foram aprofundados três casos de estudo que, mostram várias formas de aplicação dos mesmos materiais. O GLT concebe a estrutura do Centro Equestre e do Freeman's School Swimming Pool enquanto, o CLT está presente nas paredes e cobertura do Wood Innovation Design Centre, como também, na cobertura da piscina.

Com base nos resultados obtidos a partir desta investigação foi possível a aplicação de CLT e GLT na projeção do Complexo Desportivo situado no terreno da Antiga Central de Gás na Foz do Douro, para a Unidade Curricular de Projeto V.

Considero que esta dissertação, deve ser utilizada de modo a promover a utilização da madeira lamelada na arquitetura nacional, não devendo limitar a sua aplicação, uma vez que, está apta a solucionar várias questões construtivas quando comparada com sistemas convencionais. Atualmente tanto o CLT como o GLT são detentores de uma capacidade construtiva eficaz e rápida, combinados com outros materiais quando necessário, podem ser a revolução da construção por colmatarem a falta de mão de obra e o escasso tempo de execução.

“O homem, sempre construiu com o material que tinha sob os pés, ou na sua envolvente próxima. Em pedra, barro, e em madeira. Ao longo da história a madeira sobrepôs-se aos outros dois. Pela potencialidade de transformação, facilidade de transporte e de trabalho. E cedo se descobriram as suas vantagens. Sólida, estável e duradoura, de tacto suave e cor quente. Com ela contruímos abrigos e palácios, utensílios e ferramentas de trabalho, mobiliário e objectos de adorno. Com ela, navegámos à descoberta do mundo. Existir sem madeira, não parece ser possível.” Lacerda, N. (2005). *O Sétimo Sentido* (p. 5). Caleidoscópio.

Referências Bibliográficas

Costa, Ana Alexandra P. (2013). Construção de Edifícios com Cross Laminated Timber (CLT). Faculdade Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em Março de 2024.

Bastos, Nuno Manuel M.C. (2019). Construção em Madeira – Preconceito Nacional ou Inadequação? Processos atuais: da conceção à execução. Faculdade Arquitetura da Universidade do Porto. Consultado em Março de 2024.

Machado, Sara A.M. (2023). Competitividade de Edifícios em Madeira Maciça de CLT – Estudo de Caso. Faculdade Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em Abril de 2024.

Balestrin, Matheus T. (2021). O Uso da Madeira Lamelada em Edificações de Grande Porte. Universidade Lusófona do Porto. Consultado em Maio de 2024.

Carvalho, Paulo Alexandre R.C. (2008) Avaliação Térmica e Económica de Estruturas de Coberturas de Grande Vão em Madeira Lamelada Colada. Faculdade Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em Abril de 2024.

Borgstrom, Eric., Frobel, Johan. (2019). The CLT Handbook. Swedish Wood. Consultado em Abril de 2024.

Douglas, B., Karacabeyli, E. (2013). CLT Handbook. U.S. Edition. Consultado em Abril de 2024.

Salvadori, Vittorio (2017). The Development of Tall Wood Building. Politecnico Milano. Consultado em Maio de 2024.

Frobel, Johan. (2024). The Glulam Handbook, Volume 1. Swedish Wood. Consultado em Abril de 2024.

Deplazes, Andrea. (2005). Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures. Birkhauser. Consultado em Março de 2024.

Dias, Francisco G. (2017). Construção em Altura com CLT. O UT System aplicado a um exemplo. Universidade do Minho. Consultado em Março de 2024.

Lourenço, Paulo B., Branco, Jorge M., Cruz, Helena., Nunes, Lima. (2013). Casas de Madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa. Consultado em Maio de 2024.

Almeida, Filipe A.L. (2012). A Madeira como Material Estrutural – Projeto da Estrutura da Cobertura de um Edifício. Faculdade Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em Abril de 2024.

Crespell, P., Gaston, C. (2011). The Value Proposition for Cross-Laminated Timber. FP

Innovation. Consultado em Março de 2024.

6 Canadian Wood Council. (2004). Energy and the Environment in Residential Construction (Vol. No 1, Sustainable Building Series). Consultado em Abril de 2024.

Augustin, Manfred. (2008). “Wood Based Panels (in particular Cross Laminated Timber).” Handbook 1 - Timber Structures: Institute of Timber Engineering and Wood Technology. Consultado em Maio de 2024.

Forests Product Laboratory. (2010). Wood Handbook - Wood as an Engineering Material. Consultado em

Pagnoncelli, Luigi, & Morales, Fabian. 2016. Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and in situ measurements of airborne and impact sound insulation. Consultado em Abril de 2024.

Steurer, Anton. 2006. Developments in timber engineering the Swiss contribution. Basel: Birkhäuser. Consultado em Abril de 2024.

Torres, João T.C. (2010). Sistemas Construtivos Modernos em Madeira. Faculdade Engenharia da Universidade do Porto. Consultado em Março de 2024.

Ceccotti, Ario., Sandhaas, Carmen., Yasumura, Motoi. (2010). Seismic Behaviour of Multistory Cross-laminated Timber Buildings. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe – Timber Committee. Consultado em Abril de 2024.

Salvatore, D. Arquitetura e Engenharia em Madeira: Conceção e Detalhamento de Estrutura em MLC. Escola Coletiva de Projetos. Consultado em Maio de 2024.

Lacerda, N. (2005). O Sétimo Sentido (p. 5). Caleidoscópio. Consultado em Maio de 2024.

Webgrafia

<https://hyelim.myportfolio.com/wood-innovation-and-design-centre-case-study-1>

<https://wood-works.ca/wp-content/uploads/151203-WoodWorks-WIDC-Case-Study-WEB.pdf>

<https://architizer.com/blog/practice/details/freemens-school-pool/>

<https://www.eocengineers.com/projects/city-of-london-freemens-school-swimming-pool-299/>

https://www.it.brettsperrholz.org/publish/binarydata/Brettsperrholz/downloads/stghb_brettsperrholz_e_150dpi_101207.pdf

<https://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2017/03/tisem.pdf>

<https://www.thinkwood.com/wp-content/uploads/2019/08/Think-Wood-Publication-100-Projects-UK-CLT.pdf>

<https://timbertectonics.com/wp-content/uploads/2018/02/ubc-wood-innov-des-ctr-searcy.pdf>

<https://www.carmo.com/blog/sabe-escolher-os-tipos-de-madeira-para-construcao-mais-adequados-descubra-a-diferenca-entre-madeiras-clt-e-glt>

<https://carpinteria.com.br/2018/04/08/madeira-laminada-cruzada-clt/>

https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/pdf/products/glulam.pdf

<https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/glulam>

<https://cwc.ca/wp-content/uploads/publications-Energy-and-the-Environment.pdf>

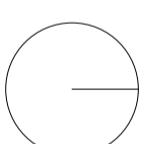
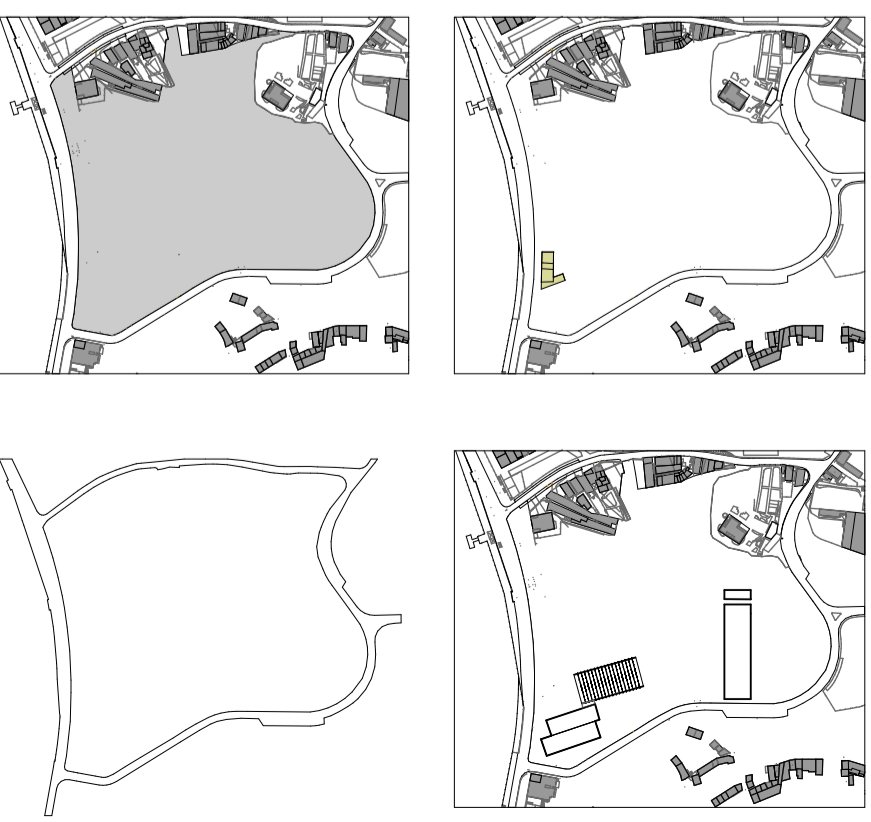
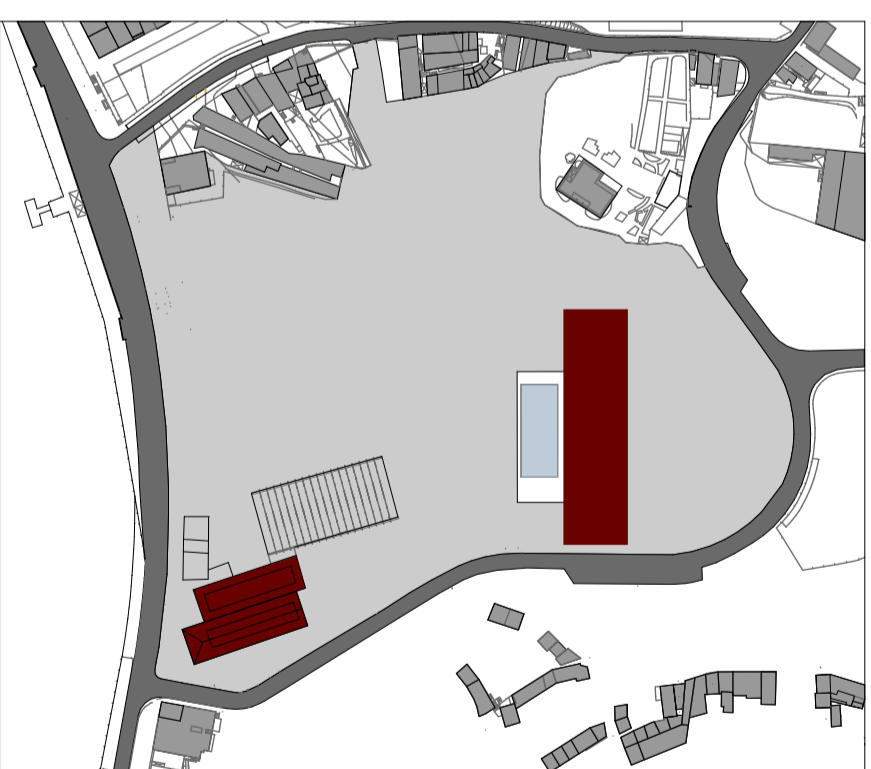
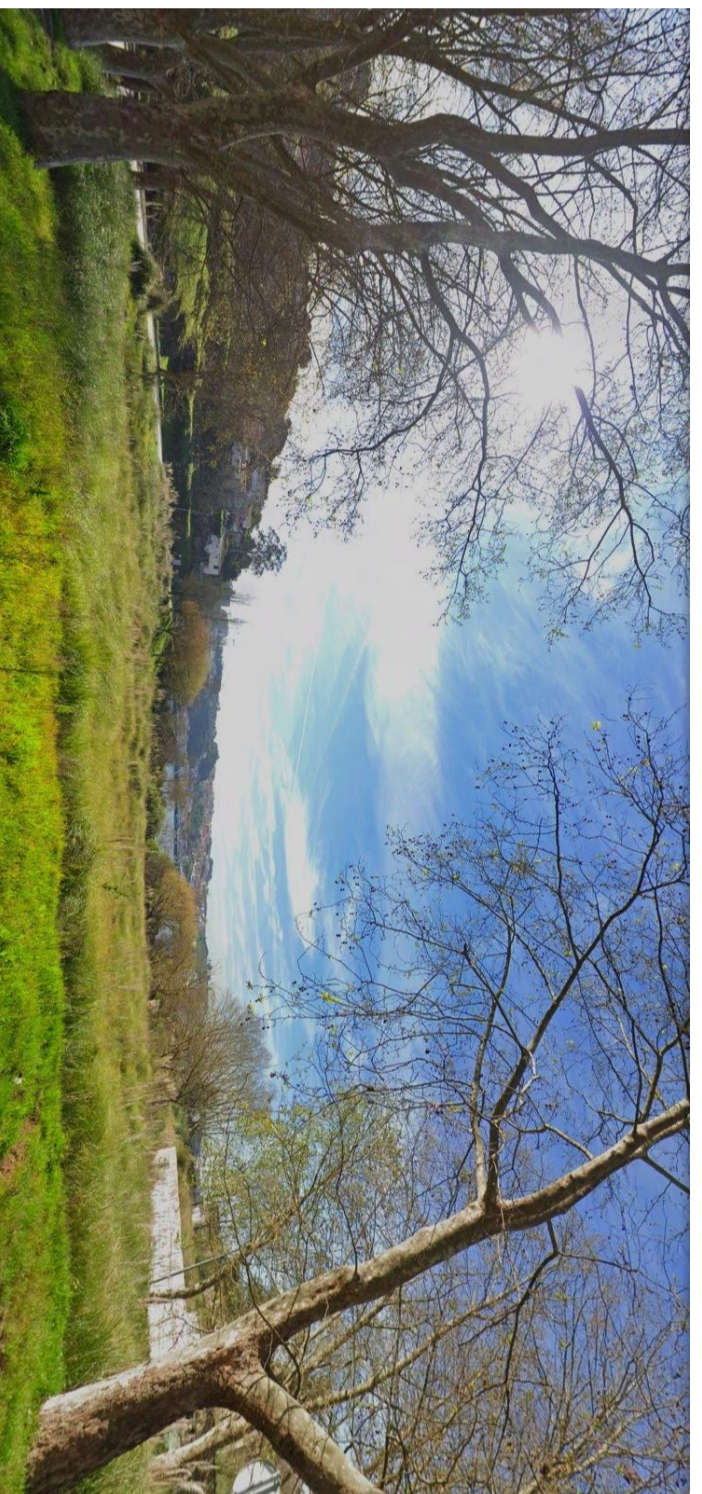
<https://madeq.serq.pt/pt/produtos/clt>

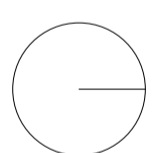
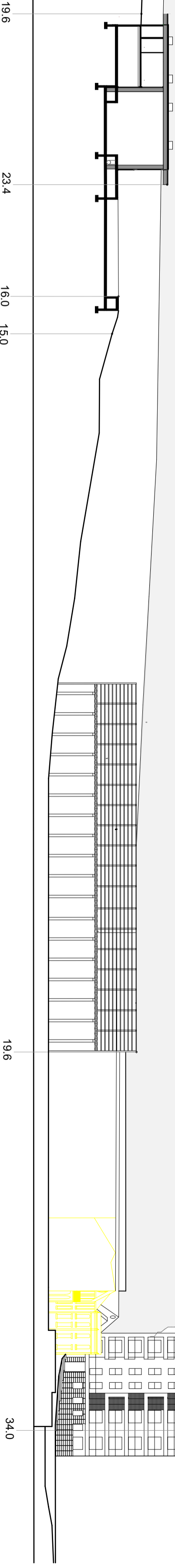
https://woodcampus.co.uk/wp-content/uploads/2022/07/GLU_HAND_VOLUME-1.pdf

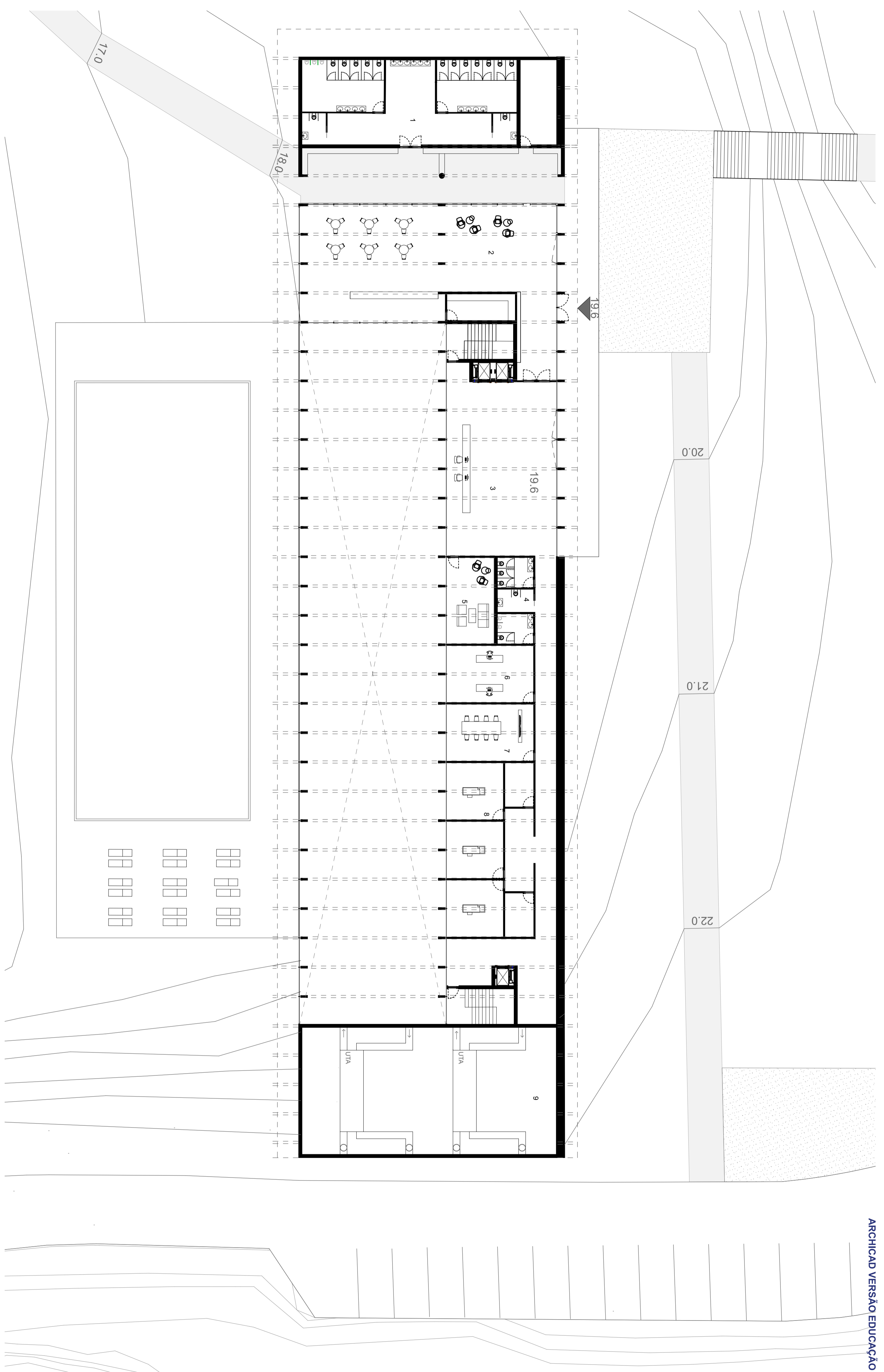
<https://www.youtube.com/watch?v=be1LVts-yjU&t=307s>

<https://www.youtube.com/watch?v=H1MWBWCHTCo>

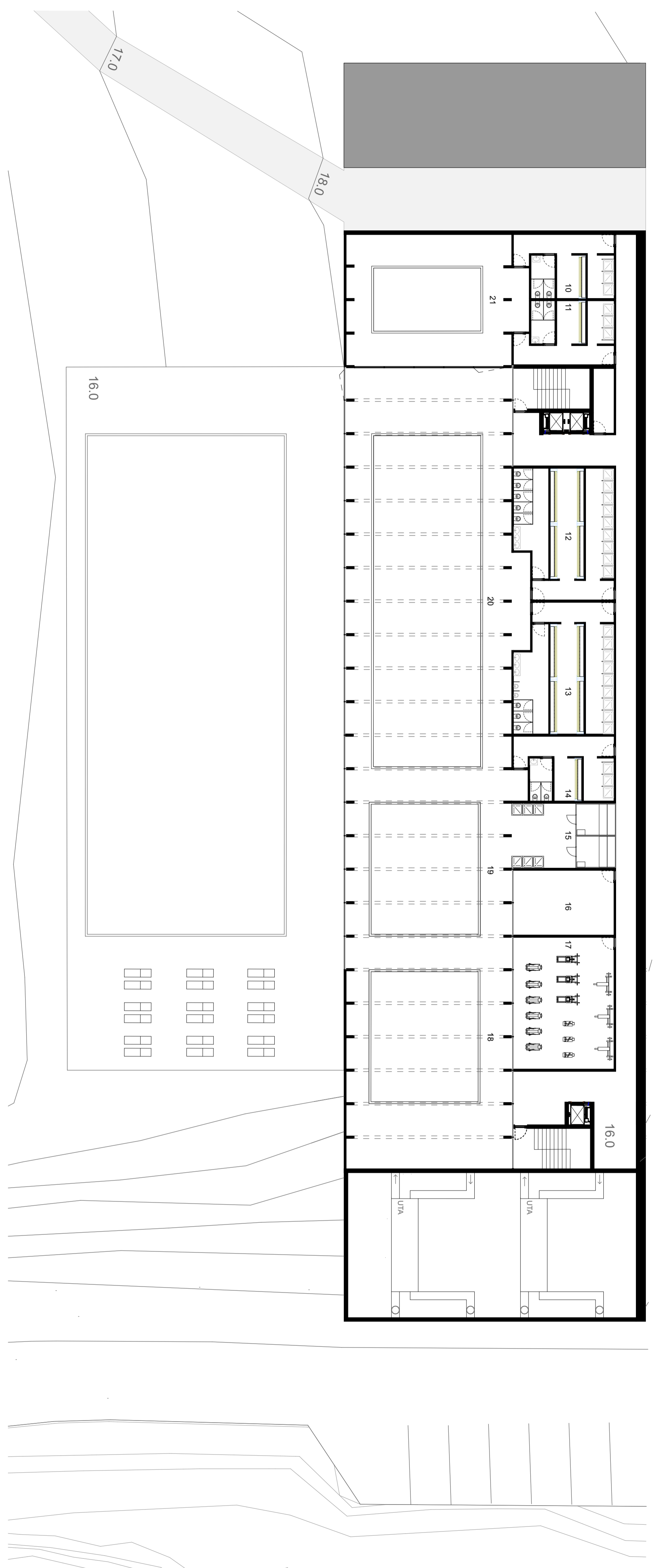
ANEXOS



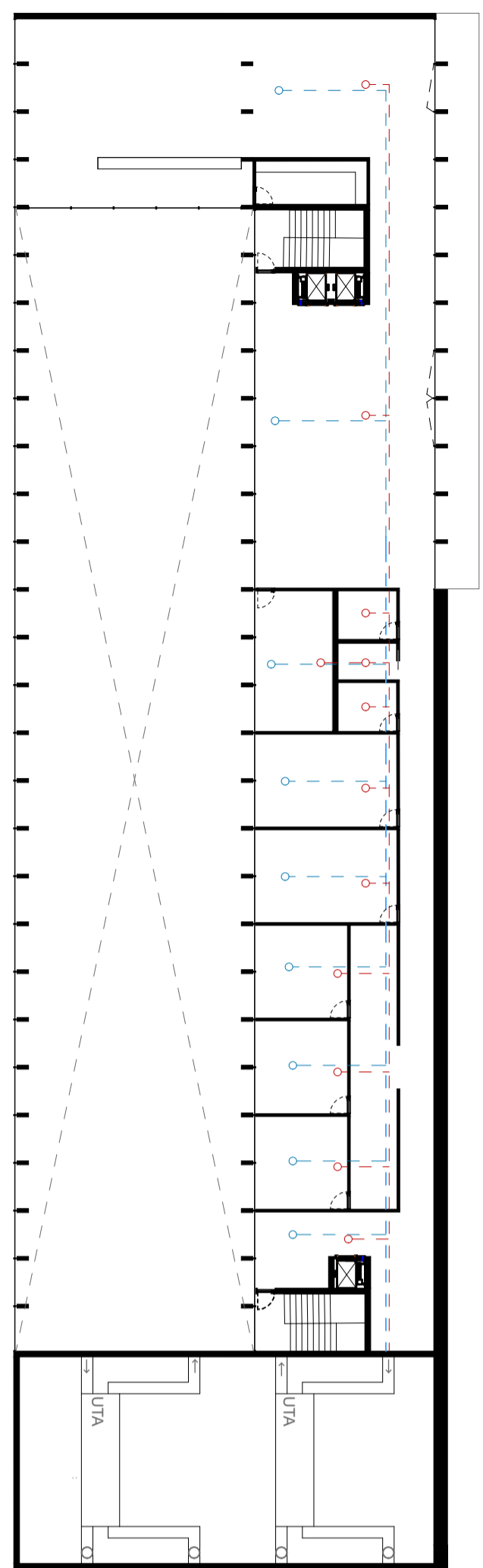




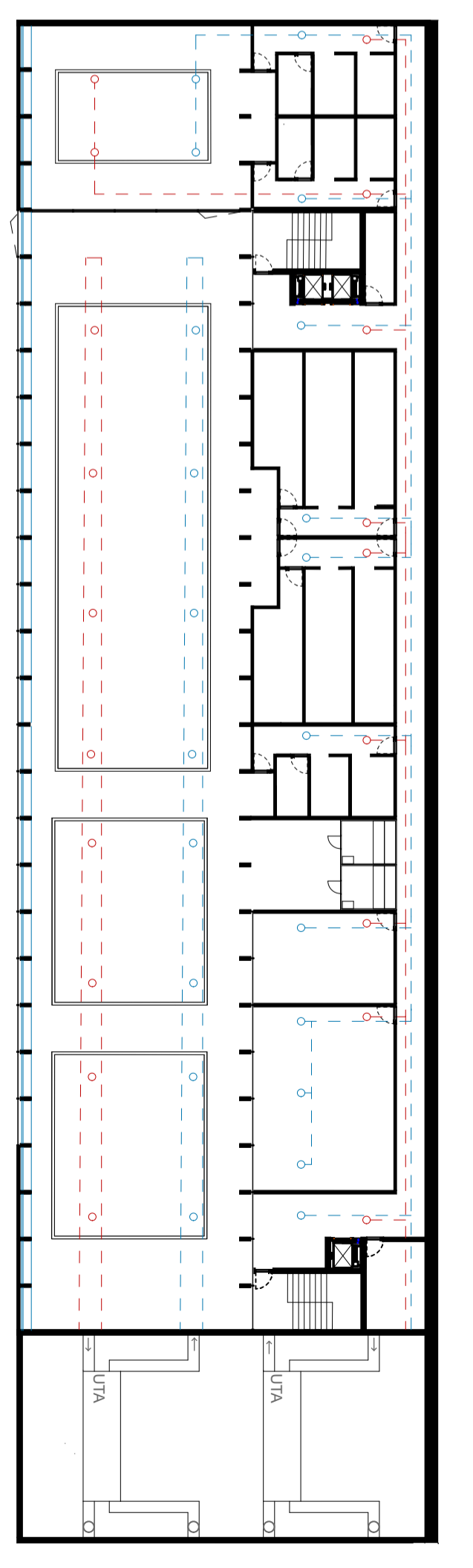
Planta Piso 0: Cota 19.6 Escala 1/200



Planta Piso -1: Cota 16.0 Escala 1/200



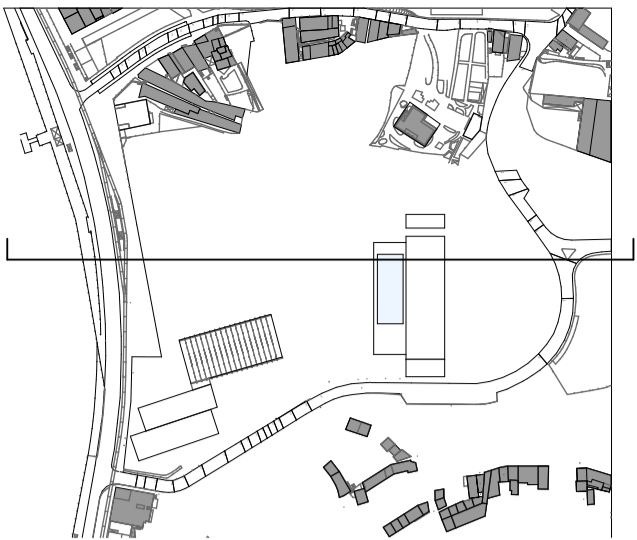
Planta Piso 0 Escala 1/300



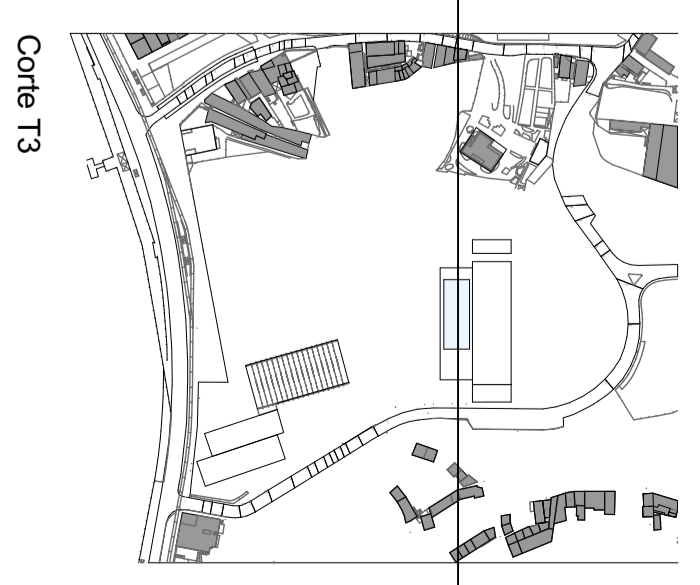
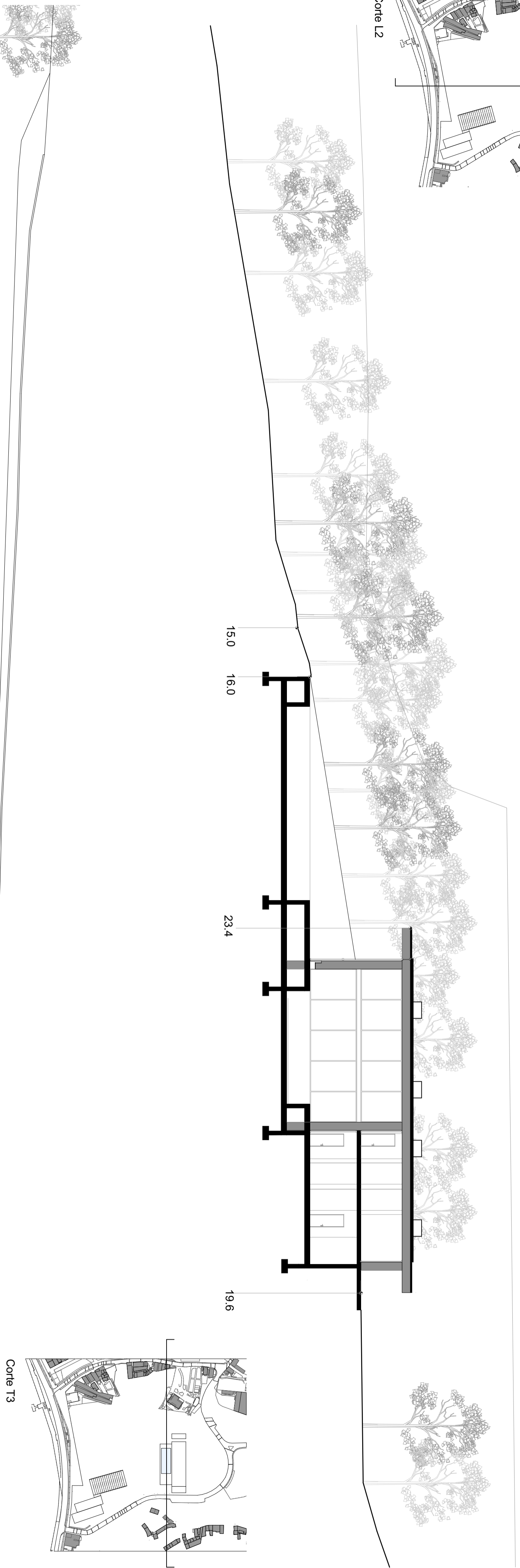
Planta Piso -1 Escala 1/300

O tracejado representa o percurso da conduta pelo edifício, neste projeto as condutas encontram-se na cobertura. Os círculos azuis representam os locais onde a insuflação é acessível, e, a vermelho a extração. No piso -1, o traçado contínuo azul identifica a insuflação feita a partir do pavimento.

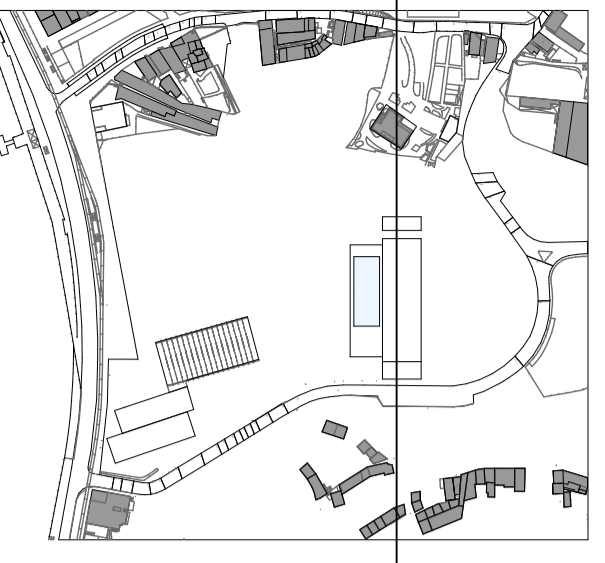
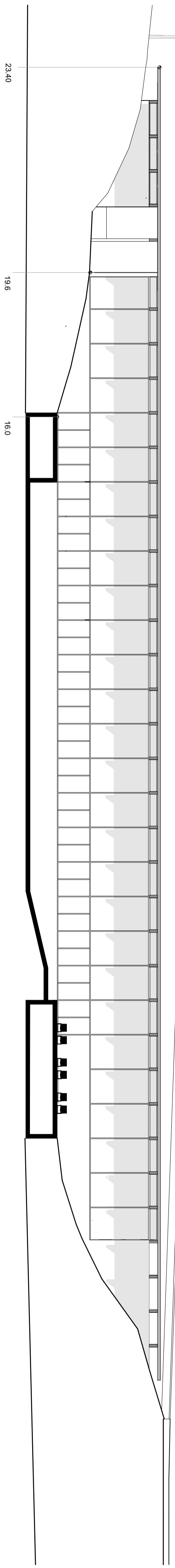
- 1 VAS PÚBLICO
- 2 COFE
- 3 RECEÇÃO
- 4 SALA REPOSIÇÃO
- 5 SALA REPOSIÇÃO PESSOAL
- 6 ADMINISTRAÇÃO
- 7 ADMINISTRAÇÃO
- 8 SPA
- 9 SPA
- 10 BALNEÁRIO MONITOR #
- 11 BALNEÁRIO CRIANÇAS
- 12 BALNEÁRIO FEMININO
- 13 BALNEÁRIO MASCULINO
- 14 SALA E BANHO TURCO
- 15 SALA E BANHO TURCO
- 16 SALÃO DO GINÁSIO
- 17 TANQUE LÚDICO
- 18 TANQUE LÚDICO
- 19 TANQUE LÚDICO
- 20 TANQUE INFANTIL
- 21 TANQUE INFANTIL



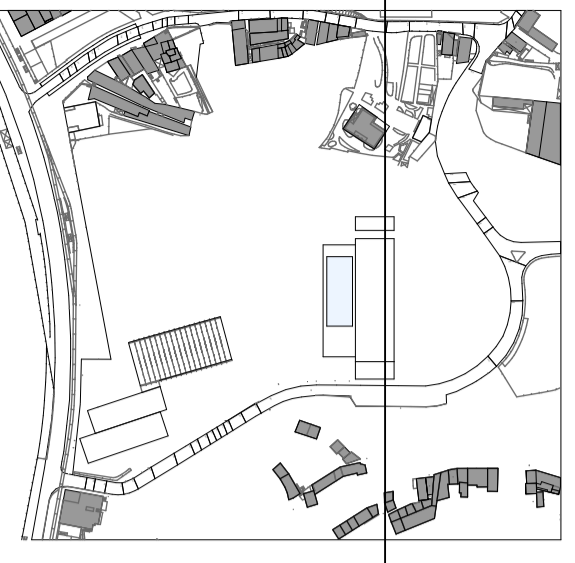
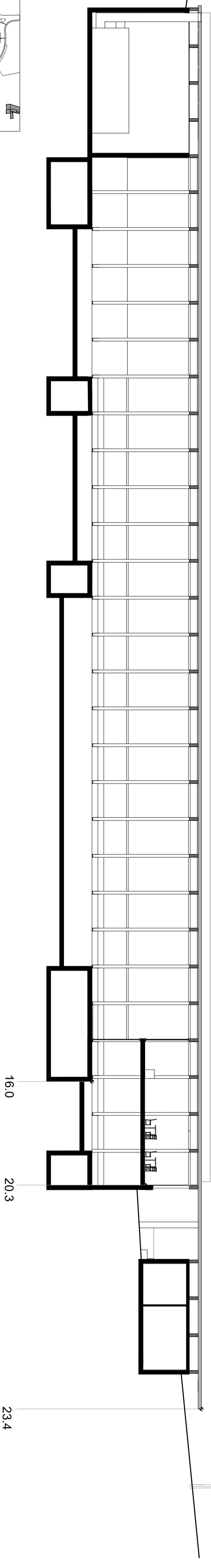
Corte L2



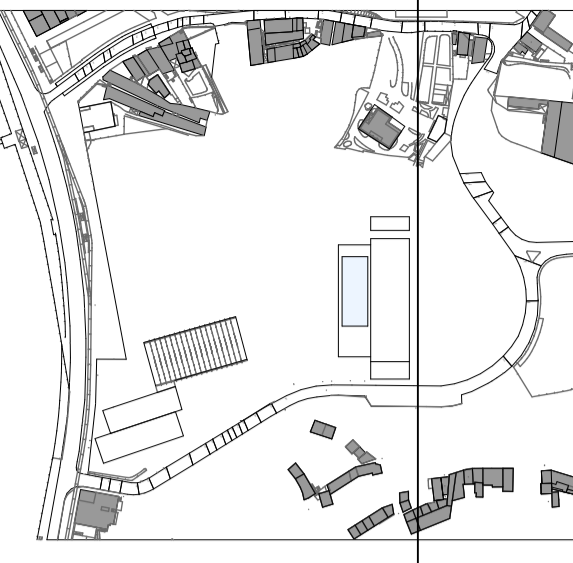
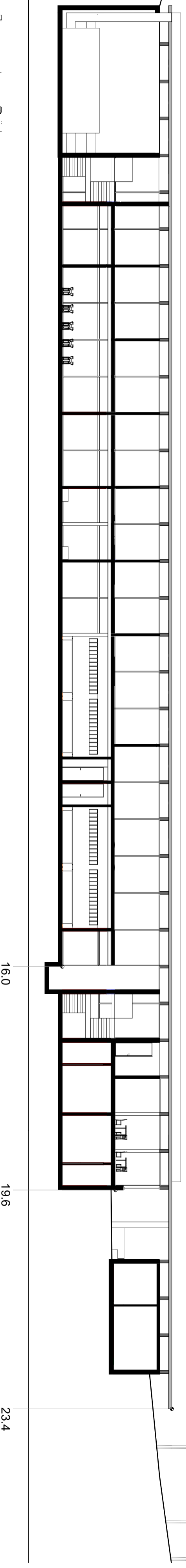
Corte L3



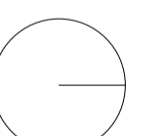
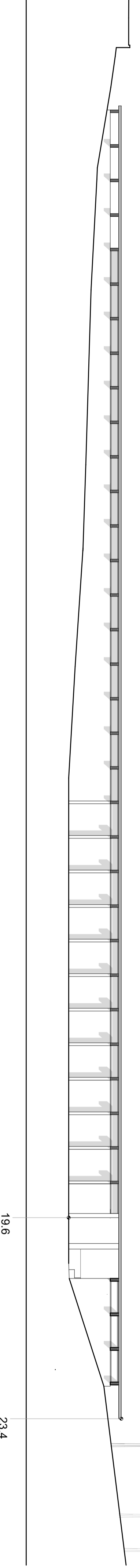
Corte T6



Corte T4



Corte T5



Barreira pára-vapor
Laje em CLT

Isolamento

Viga em GLT

Laje em GLT

Viga em GLT
Fixação Metálica

Caixilho em
aluminíio
Pilar em GLT

Pavimento em
madeira

Dreno
Telo falso em gesso

Pilar em GLT

Caixilho em aluminíio

Pavimento em micro betão

Laje em betão

Caleira

Tela pitorrada

Tela asfáltica

Dreno

Dreno

Brita

Tela asfáltica

Pavimento cerâmico
Betonilha de regularização

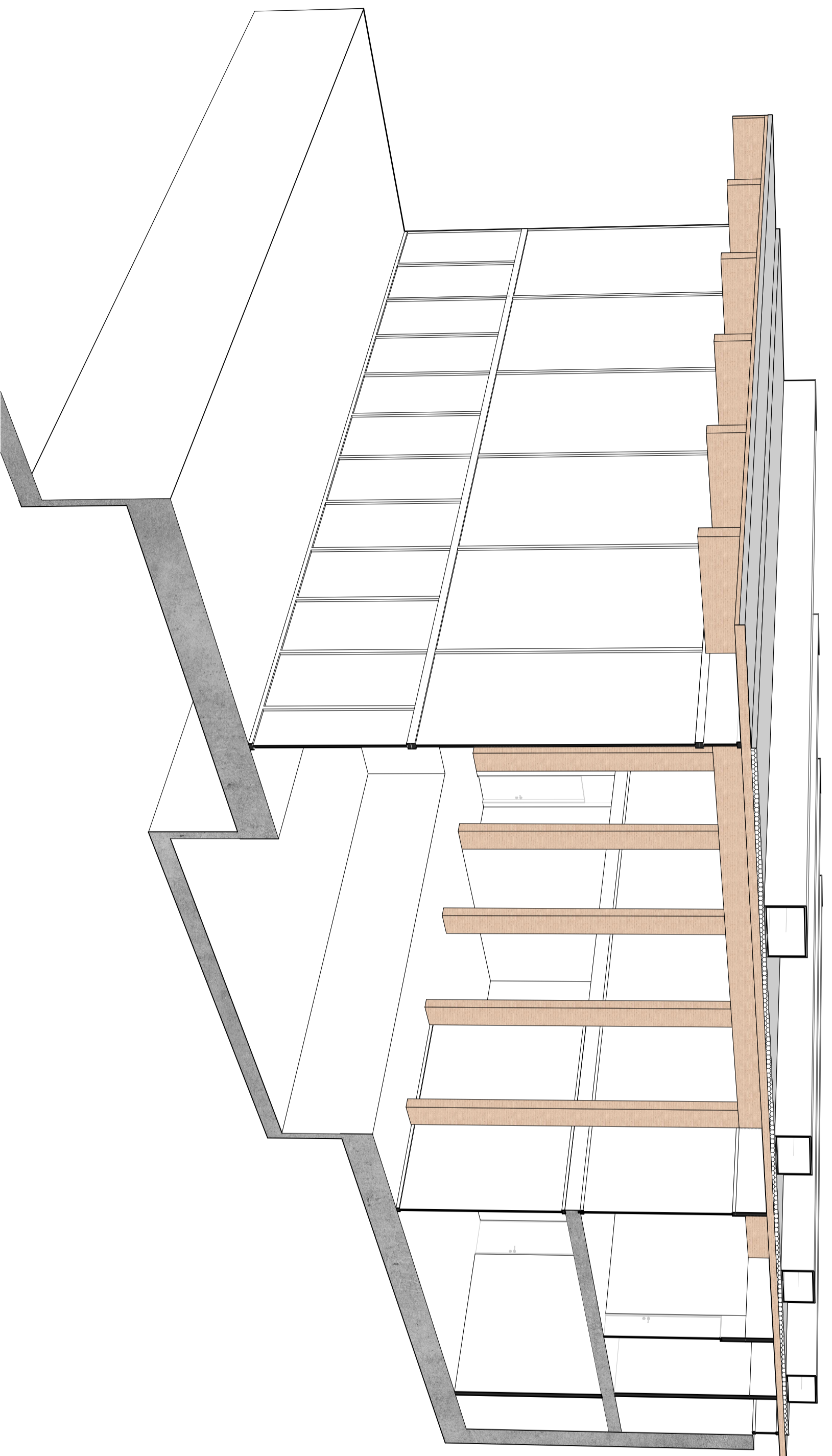
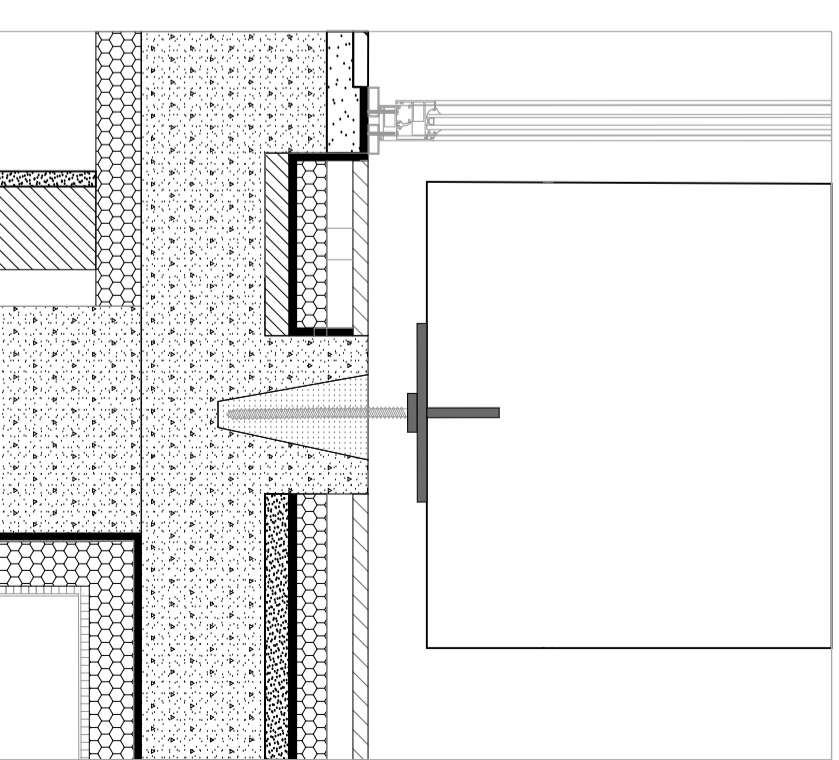
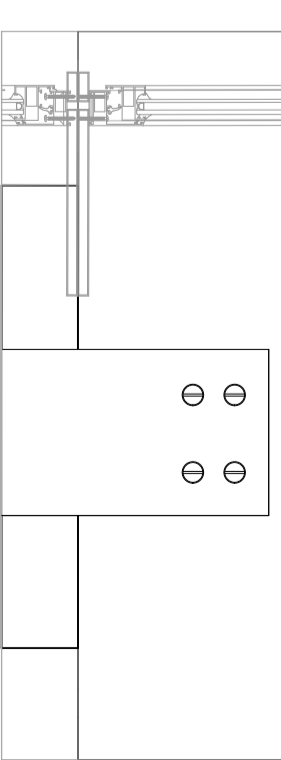
Reboco

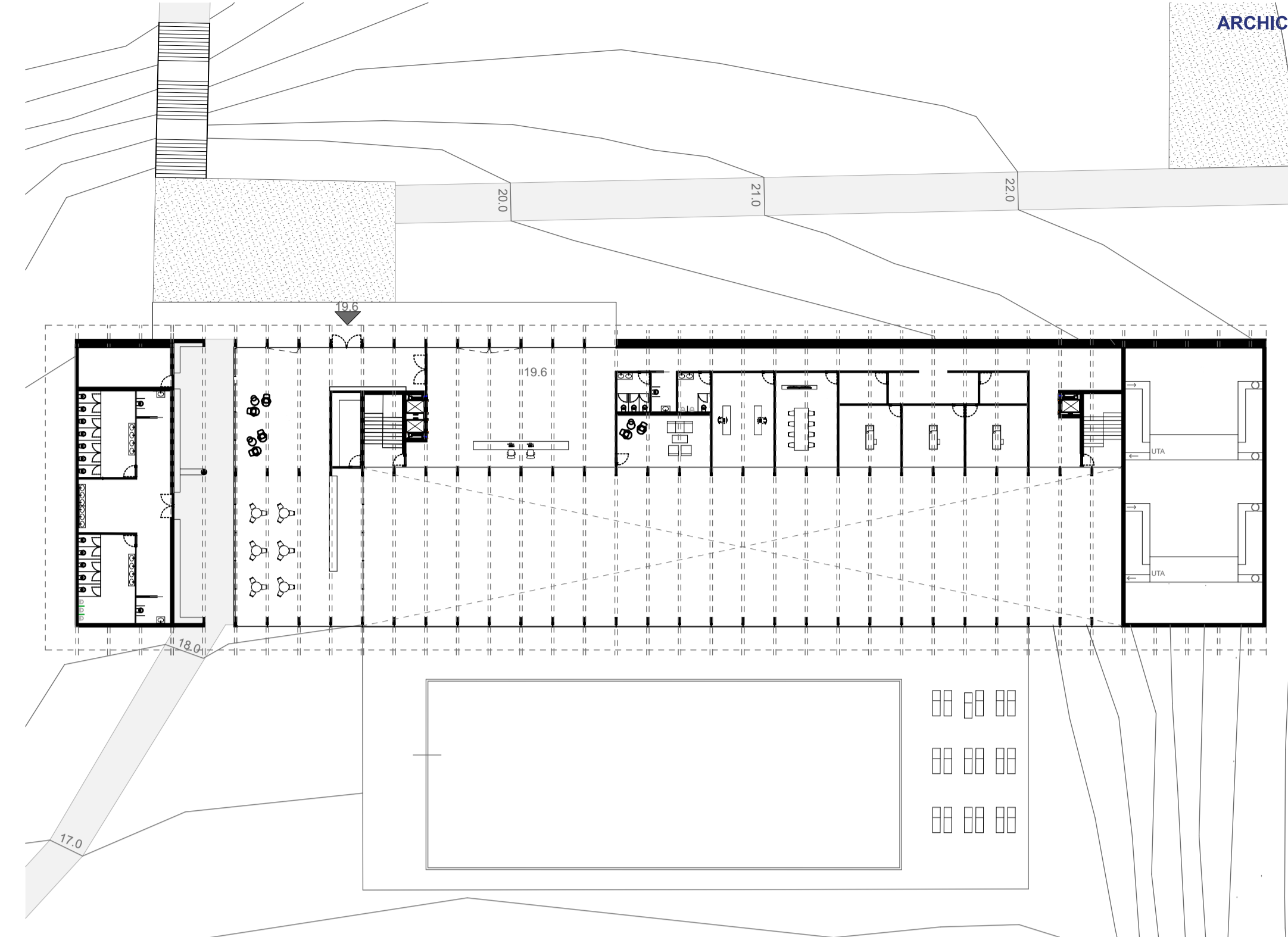
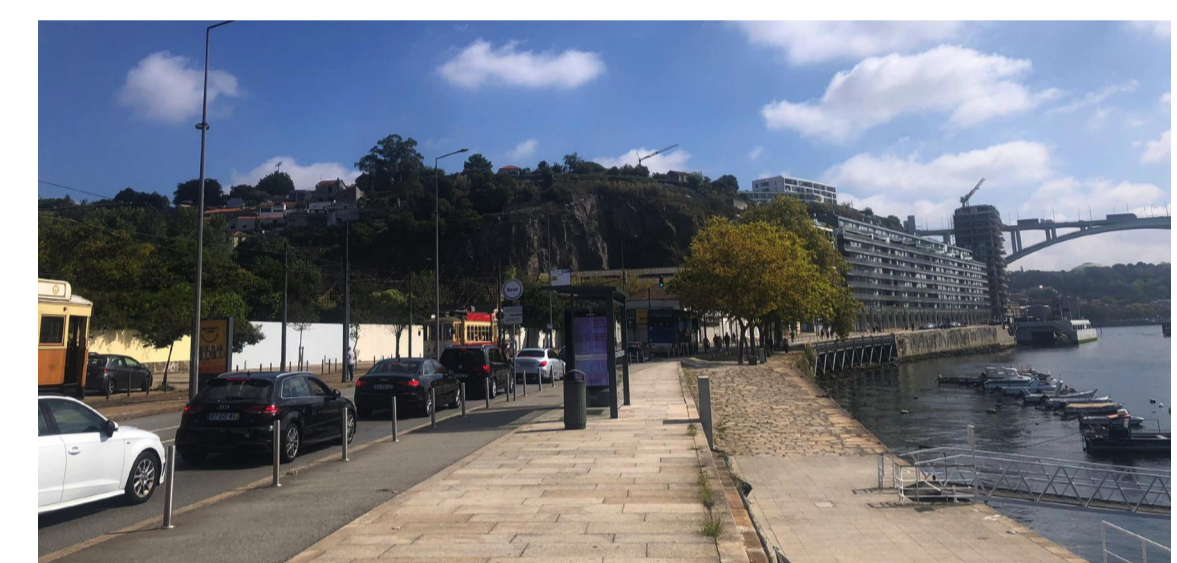
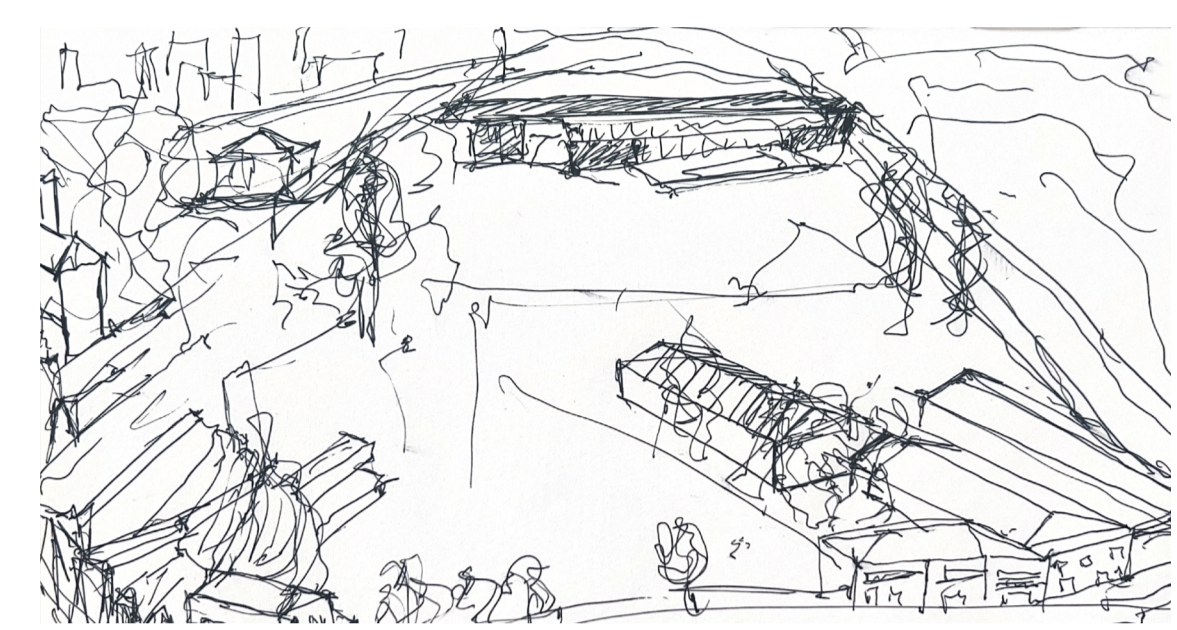
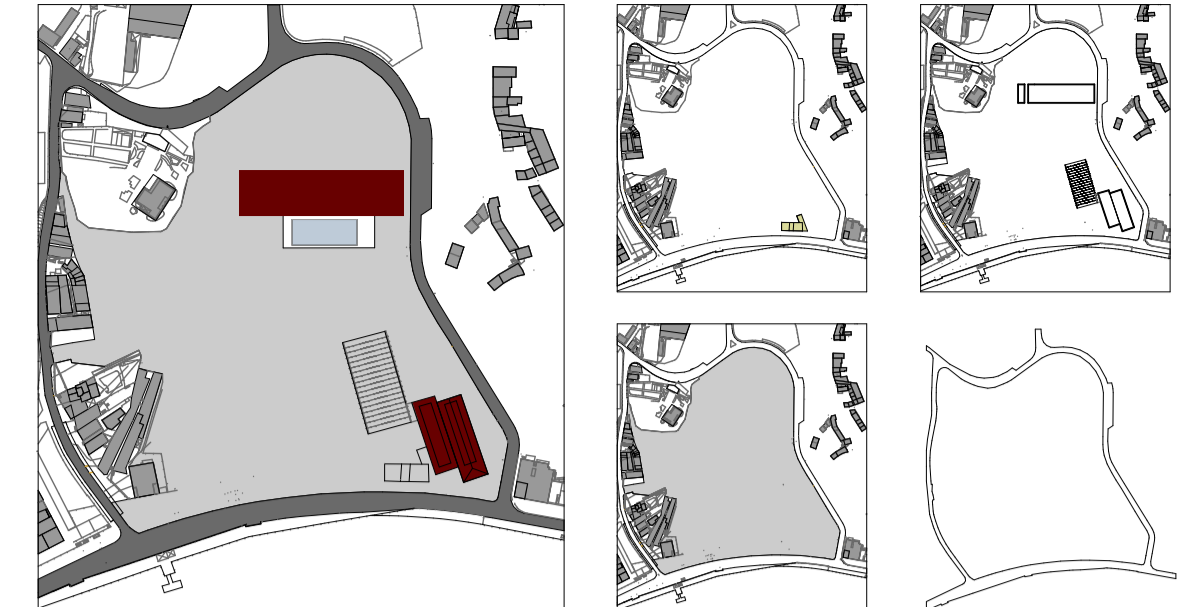
Parede de tijolo

Caixa de ar

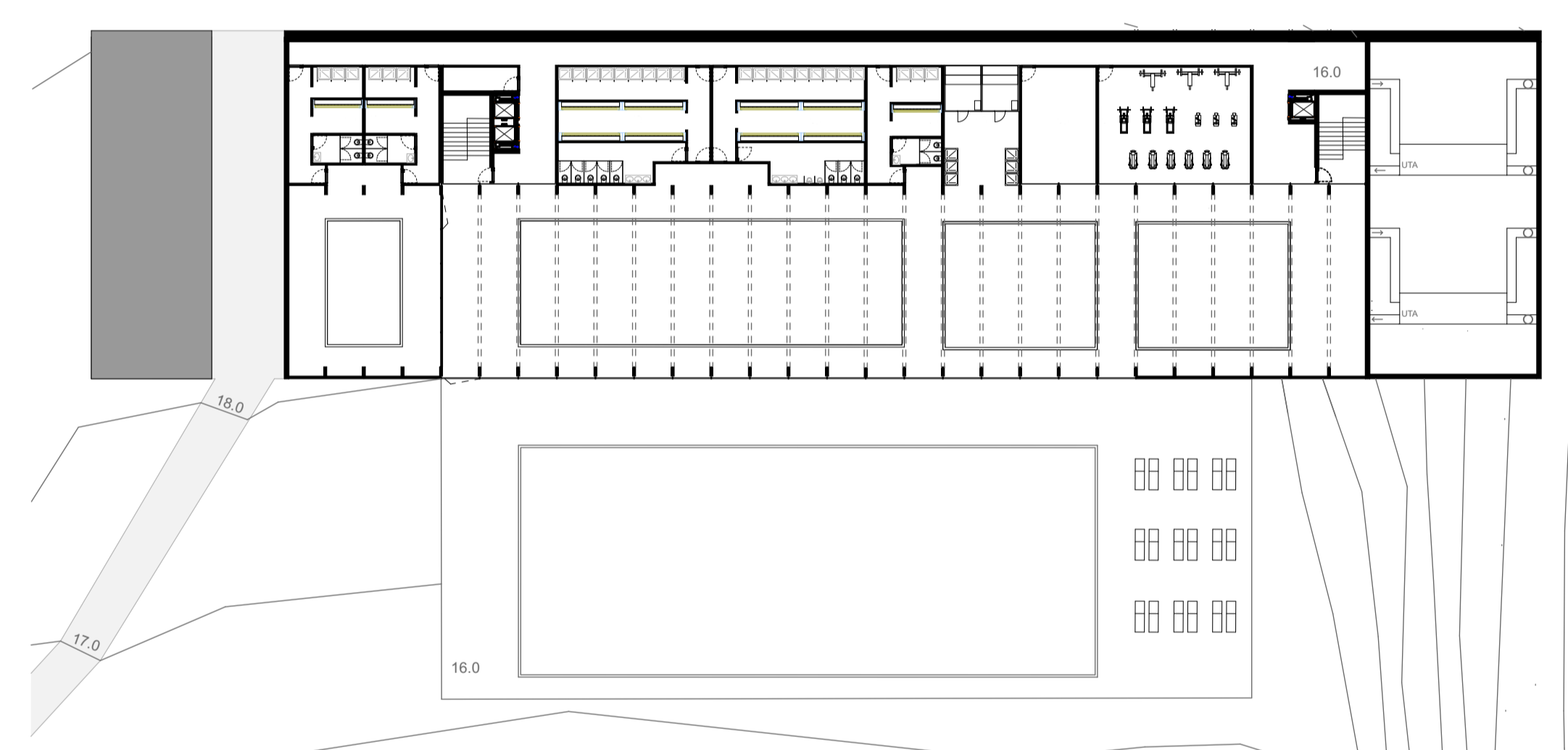
Tela pitorrada

Isolamento

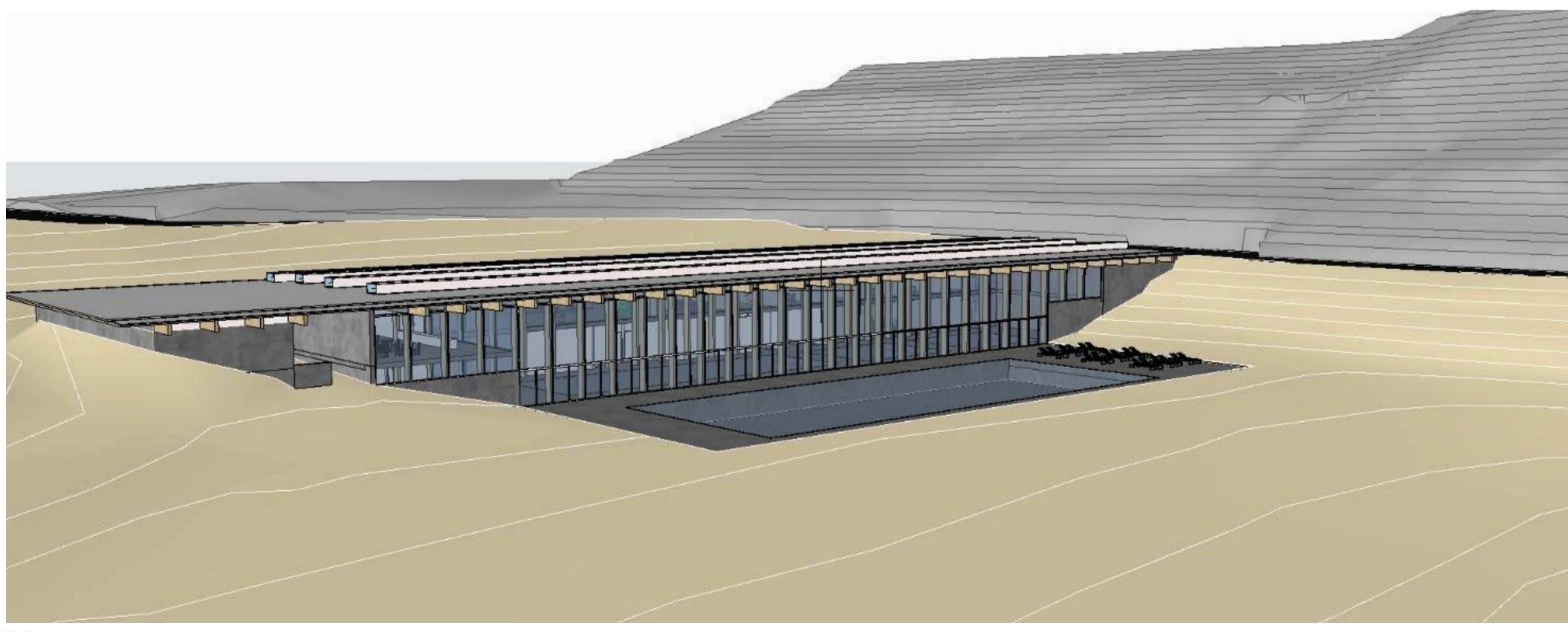
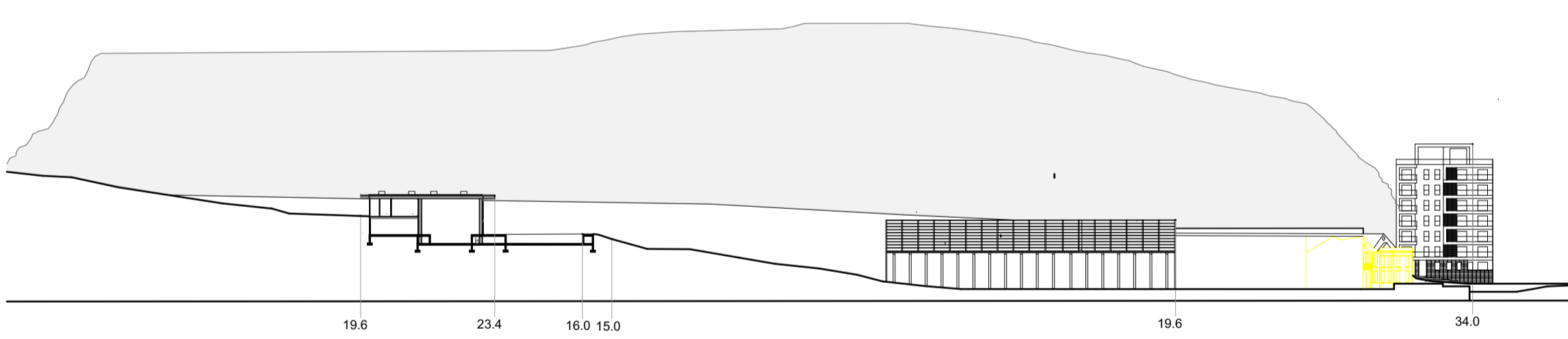




PLANTA PISO 0, COTA 19.6



PLANTA PISO -1, COTA 16.0



MODELO 3D

A proposta de intervenção consiste no tratamento de um parque urbano e na projeção de um complexo desportivo com restaurante na antiga Central do Gás na Foz do Douro. A área em estudo é delimitada pela Rua do Aleixo, Rua Carvalho Barbosa e a Rua da Mocidade da Arrábida que desguam na Rua do Ouro, marginal do rio Douro. É de salientar que o terreno em estudo apresenta um desnível com cerca de vinte e cinco metros entre a cota mais baixa e a cota mais alta.

O edifício foi implantado a uma cota alta segundo a ideia de fazer uma "ponte" entre encostas. O paralelepípedo de grande comprimento divide-se em dois volumes e encontra-se semienterrado, o que resulta num pé direito reduzido.

O acesso principal ao parque urbano é feito a partir da Rua do Ouro, ligando o restaurante e o mercado a partir da cota mais baixa. O percurso intersecta o acesso da Rua do Aleixo, passa pelo volume do complexo desportivo e, através de uma escadaria desagua na Rua Carvalho Barbosa.

A organização do programa no complexo desportivo divide-se em dois pisos, no piso da entrada localizam-se áreas de carácter público e de serviços, já no piso inferior encontram-se espaços de carácter privado. O piso da entrada situa-se na cota 19.6 e alberga recepção, café, serviços administrativos, salas de pessoal e salas de massagem. À cota 16.0 localizam-se os balneários de usuários e monitores, ginásio e piscinas.

Em relação às pré-existências, o edifício de maior dimensão, com dois pisos, alberga a uma cota mais baixa o mercado, escritório e recepção do restaurante. Por sua vez, o piso superior está destinado apenas ao restaurante e engloba cozinha, arrumos, copa, bar e uma sala de refeições.

A ideia estrutural para o complexo desportivo foi concebida numa estrutura em madeira lamelada colada (GLT) dividida por pilares e vigas que suportam a cobertura em madeira lamelada colada cruzada (CLT). Esta estrutura suporta a ideia inicial do projeto que consiste numa nave de grandes dimensões marcada por um ritmo de pilares e um pórtico de entrada caracterizado pela mesma imagem.

