



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Ângela Guiomar Ferreri de Gusmão e Silva Alves

**Desenvolvimento e análise de um sistema modular  
para a construção de edifícios**

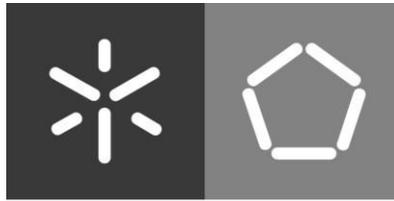
Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Doutor Vítor Manuel do Couto Fernandes da Cunha**

**Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão**



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Ângela Guiomar Ferreri de Gusmão e Silva Alves

**Desenvolvimento e análise de um sistema modular  
para a construção de edifícios**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Doutor Vítor Manuel do Couto Fernandes da Cunha**

**Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão**

*“To achieve all that is possible,  
we must attempt the impossible.*

*To be all that we can be,  
we must dream of being more.”*

*-John C. Maxwell*

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição  
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus orientadores, Professor Doutor Vítor Manuel do Couto Fernandes da Cunha e Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão, por todos os conhecimentos transmitidos, toda a motivação, paciência e horas despendidas que possibilitaram a realização deste trabalho.

A todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho que fizeram parte da minha formação académica e pessoal.

À dst group, pelo investimento, tanto a nível monetário como a nível curricular e formativo.

Aos meus pais, os meus pilares, por todos os sacrifícios feitos ao longo destes anos para que nunca nada me faltasse.

Ao meu irmão, o “piolho”, por toda a boa disposição e pelo seu riso contagiante que consegue animar toda e qualquer pessoa.

Aos meus amigos, por todas as palavras de incentivo, de carinho, por todos os momentos de diversão e as boas memórias criadas ao longo destes anos.

Em especial à Joana, por ter estado sempre lá, nos bons e nos maus momentos. És a verdadeira definição de amiga.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho

## RESUMO

No setor da construção, os conceitos de pré-fabricação e modularização apresentam variadas vantagens comparativamente à construção *in-situ*, nomeadamente redução de custos e tempo de construção, maior qualidade, maior eficiência e menor risco de acidentes de trabalho em estaleiro devido à redução do número e complexidade das operações *in-situ*.

Este trabalho baseia-se na análise de um projeto de construção *in-situ* adotado como caso de estudo, designadamente um edifício para a indústria hoteleira de média dimensão e com uma certa repetição das suas tipologias habitacionais. Será realizada a respetiva análise, tanto a nível arquitetónico como estrutural, assim como ao levantamento de fatores que poderão condicionar o desenvolvimento do sistema modular. Após isto proceder-se-á à “transformação” do edifício analisado num projeto de construção modular, onde serão estudadas soluções para os condicionalismos encontrados no projeto de construção *in-situ*, como, por exemplo, a necessidade de integração das instalações técnicas, a definição de materiais, a influência dos transportes nas dimensões dos módulos, de modo a garantir a funcionalidade da estrutura.

Com todas as condicionantes solucionadas foi possível conceber as estruturas modulares que irão compor o edifício e serão analisados os modos de ligação entre as mesmas. De seguida serão modelados um módulo e um piso exemplo, os quais servirão de referência para a modelação de todo o edifício.

Para finalizar, realizar-se-á a modelação de todo o edifício, de modo faseado, e serão aplicadas soluções de modo a obter uma estrutura coesa e monolítica após assemblagem.

A modelação dos elementos realizou-se com modelação parametrizada em “*Building Information Modelling*” (BIM), com recurso ao *software* Revit 2021.

**Palavras-chave:** Assemblagem, Construção Modular, Módulo, Projeto de Construção

## **ABSTRACT**

In the construction sector, prefabrication and modularization concepts have several advantages compared to in-situ construction, namely cost and time reduction, higher quality, higher efficiency and lower risk of on-site work accidents due to the reduction of the number and complexity of the in-situ operations.

This work was based on the analysis of a case study, namely, an in-situ medium sized construction project aimed for the hotel industry, with some repetition of the housing typologies. The respective analysis will be carried out, both at architectural and structural point of views, and a survey of factors that may constrain the development of the modular system will be carried out. After that, we will proceed to its “transformation” into a modular construction project, where solutions will be analysed for the constraints found in the *in-situ* construction project, such as, for example, the need for integration of technical installations, the definition of materials, the influence of transportation on the dimension of the modules, in order to ensure the functionality of the structure.

With all the constraints solved, it is possible to design the structures that will integrate the building and the connection modes between them will be analysed. Then, a module and an example floor will be modelled, which will serve as a reference to model the whole building.

Finally, the whole building will be modelled, in a phased way, and solutions will be applied in order to obtain a cohesive and monolithic structure after assembly.

The modelling of the elements will be done with parameterized BIM modelling, using Revit 2021 software.

**Key-words:** Assembly, Modular Construction, Connection, Modular, Construction Project

**ÍNDICE**

---

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
ÍNDICE	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XV
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	3
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
2.1. HISTÓRIA DA CONSTRUÇÃO	4
2.1.1. CONSTRUÇÃO NA PRÉ-HISTÓRIA	4
2.1.2. CONSTRUÇÃO NA MESOPOTÂMIA	6
2.1.3. CONSTRUÇÃO NO EGITO	7
2.1.4. CONSTRUÇÃO CRETENSE	8
2.1.5. CONSTRUÇÃO NA GRÉCIA	9
2.2. CONSTRUÇÃO TRADICIONAL / <i>IN-SITU</i>	17
2.2.1. PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS	17
2.2.2. MATERIAIS	18
2.2.3. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	23
2.2.4. TIPOLOGIA ESTRUTURAL	25
2.2.5. PROCESSO CONSTRUTIVO	28
2.3. CONSTRUÇÃO MODULAR	33
2.3.1. PRINCÍPIOS E FUNDAMENTOS	33
2.3.2. MATERIAIS	41
2.3.3. COMPONENTES / SISTEMAS	49
2.3.4. TIPOLOGIA	52
2.3.5. PROCESSO DE ASSEMBLAGEM	77
2.3.6. EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	81
2.4. APLICAÇÃO DO BIM NA CONSTRUÇÃO PRÉ-FABRICADA	85
<b>CAPÍTULO 3. PROJETO DE MODULARIZAÇÃO DE UNIDADE HOTELEIRA</b>	<b>91</b>

---

---

3.1.	ENQUADRAMENTO GERAL	91
3.2.	PROJETO DE CONSTRUÇÃO <i>IN-SITU</i>	91
3.2.1.	PROJETO DE ARQUITETURA	92
3.2.2.	PROJETO ESTRUTURAL	100
3.3.	PROJETO DE CONSTRUÇÃO MODULAR	107
3.3.1.	CONDICIONANTES DO MÓDULO	107
3.3.2.	NECESSIDADE DE INTEGRAÇÃO DAS INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS	108
3.3.3.	DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES, MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	109
3.3.4.	DIMENSÕES ÚTEIS E TOTAIS DOS MÓDULOS E A INFLUÊNCIA NO TRANSPORTE	121
3.3.5.	CONCEÇÃO DA ESTRUTURA	123
3.3.6.	ASSEMBLAGEM E CONSTRUÇÃO	139
3.3.7.	MODELAÇÃO INTEGRAL DO MÓDULO	146
3.3.8.	MODELAÇÃO DE PISO EXEMPLO	153
 <b>CAPÍTULO 4. FASEAMENTO CONSTRUTIVO DA UNIDADE HOTELEIRA</b>		<b>164</b>
<hr/>		
4.1.	ENQUADRAMENTO GERAL	164
4.2.	TRABALHOS INICIAIS	164
4.3.	EDIFICAÇÃO DO PRIMEIRO PISO	165
4.4.	EDIFICAÇÃO DO SEGUNDO PISO	167
4.5.	EDIFICAÇÃO DO TERCEIRO PISO	168
4.6.	EDIFICAÇÃO DO QUARTO PISO	169
 <b>CAPÍTULO 5. SÍNTESE DO TRABALHO</b>		<b>173</b>
<hr/>		
5.1.	OBJETIVOS ALCANÇADOS	173
5.2.	PROBLEMAS IDENTIFICADOS	174
5.3.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHOS FUTUROS	174
 <b>BIBLIOGRAFIA</b>		<b>176</b>
<hr/>		
<b>ANEXOS</b>		<b>179</b>
<hr/>		
ANEXO A.1. E A.2 – PLANTAS DO PISO -2 E -1		179
ANEXO A.3. – PLANTA DO PISO 0		180
ANEXO A.4. – PLANTAS DO PISO 1 E 3		181
ANEXO A.5. – PLANTAS DO PISO 2 E 4		182

**ÍNDICE DE FIGURAS**

FIGURA 1: DÓLMEN OU ANTA.....	5
FIGURA 2: MENIR .....	5
FIGURA 3: CROMELEQUE .....	5
FIGURA 4: EXEMPLO DE UMA CIDADE MESOPOTÂMICA.....	6
FIGURA 5: PIRÂMIDES EGÍPCIAS.....	8
FIGURA 6: VESTÍGIOS DA CONSTRUÇÃO CRETENSE.....	9
FIGURA 7: OS TRÊS DIFERENTES ESTILOS ARQUITETÓNICOS .....	10
FIGURA 8: PÁRTENON EM ATENAS, GRÉCIA .....	11
FIGURA 9: BARRA DE FERRO INSERIDA NA VIGA.....	12
FIGURA 10: DOMUS ROMANA.....	13
FIGURA 11: INSULAE ROMANA .....	13
FIGURA 12: AQUEDUTO ROMANO.....	14
FIGURA 13: COLISEU DE ROMA.....	16
FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DOS ALÇADOS E PLANTA DO PANTEÃO DE ROMA .....	17
FIGURA 15: MÁRMORE .....	19
FIGURA 16: GRANITO.....	19
FIGURA 17: MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO .....	20
FIGURA 18: AMASSADURA POR MEIO DE BETONEIRA .....	21
FIGURA 19: CAMIÃO BETONEIRA .....	21
FIGURA 20: PEÇA EM BETÃO ARMADO .....	21
FIGURA 21: TIJOLOS MACIÇOS.....	22
FIGURA 22: TIJOLO FURADO.....	22
FIGURA 23: EXEMPLO DE SAPATA DE FUNDAÇÃO.....	23
FIGURA 24: EXEMPLO DE VIGAS COM DIFERENTES SECÇÕES .....	23
FIGURA 25: PILARES EM BETÃO ARMADO .....	24
FIGURA 26: LAJES DE PISO E COBERTURA EM BETÃO ARMADO .....	24
FIGURA 27: PAREDE DE ALVENARIA DUPLA COM ISOLAMENTO .....	25
FIGURA 28: PAREDE DE ALVENARIA SIMPLES .....	25
FIGURA 29: ESTRUTURAS RETICULADAS PLANAS .....	26
FIGURA 30: ESTRUTURA RETICULADA TRIDIMENSIONAL.....	27
FIGURA 31: DIFERENTES TIPOS DE PAREDES ESTRUTURAIS.....	28
FIGURA 32: TRABALHOS DE ESCAVAÇÃO PARA ABERTURA DAS FUNDAÇÕES.....	29
FIGURA 33: EXECUÇÃO DAS SAPATAS DE FUNDAÇÃO.....	29
FIGURA 34: EXECUÇÃO DOS PILARES .....	30
FIGURA 35: PORMENOR DA ARMADURA DOS PILARES .....	30
FIGURA 36: COFRAGEM DE VIGA .....	31
FIGURA 37: PORMENOR DE ARMADURA DE VIGA .....	31
FIGURA 38: COFRAGEM DE UMA LAJE.....	32
FIGURA 39: PROCESSO DE BETONAGEM E PORMENOR DE ARMADURA DE UMA LAJE .....	32
FIGURA 40: ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL .....	33
FIGURA 41: TEMPLO GREGO .....	35
FIGURA 42: ORGANIZAÇÃO DA CIDADE DE TIMGAD, CONSTRUÍDA DURANTE O IMPÉRIO ROMANO .....	36
FIGURA 43: PALÁCIO DE CRISTAL, POR JOSEPH PAXTON (1851) .....	37
FIGURA 44: SISTEMA ESTRUTURAL DO PALÁCIO DE CRISTAL .....	37
FIGURA 45: SISTEMA "DOM-INO", POR LE CORBUSIER .....	38
FIGURA 46: GRAU DE PRÉ-FABRICAÇÃO .....	39
FIGURA 47: GRELHA AXIAL .....	41
FIGURA 48: GRELHA MODULAR.....	41
FIGURA 49: UTILIZAÇÃO DA MADEIRA PARA FRAMES .....	42
FIGURA 50: UTILIZAÇÃO DA MADEIRA COMO ACABAMENTO .....	42

---

FIGURA 51: ESTRUTURA CONCEBIDA EM LVL .....	43
FIGURA 52: ESTRUTURA CONCEBIDA EM CLT .....	43
FIGURA 53: AÇO LAMINADO A FRIO .....	44
FIGURA 54: AÇO LAMINADO A QUENTE .....	44
FIGURA 55: REPRESENTAÇÃO DO PROCESSO DE TREFILAGEM .....	44
FIGURA 56: PRODUTO RESULTANTE DA TREFILAGEM .....	44
FIGURA 57: AÇO CARBONO .....	45
FIGURA 58: AÇO INOXIDÁVEL .....	45
FIGURA 59: EXEMPLO DE ESTRUTURA EXECUTADA EM AÇO .....	46
FIGURA 60: MOLDE PARA FABRICO DE PEÇAS EM BETÃO .....	47
FIGURA 61: ESTRUTURA EM BETÃO PRÉ-FABRICADO .....	47
FIGURA 62: FIBRA DE VIDRO .....	48
FIGURA 63: FIBRA DE CARBONO .....	48
FIGURA 64: ESTRUTURA EXECUTADA COM BETÃO REFORÇADO COM VIBRA DE VIDRO .....	49
FIGURA 65: EXEMPLO DE ESTRUTURA MASSIVA .....	50
FIGURA 66: EXEMPLO DE ESTRUTURAS EM FRAME .....	50
FIGURA 67: EXEMPLO DE FACHADA EM MADEIRA .....	51
FIGURA 68: EXEMPLO DE FACHADA EM BETÃO .....	51
FIGURA 69: EXEMPLO DE EDIFÍCIO EXECUTADO COM MÓDULOS .....	54
FIGURA 70: MÓDULO EM AÇO .....	55
FIGURA 71: MÓDULO EM MADEIRA .....	56
FIGURA 72: MÓDULO EM BETÃO ARMADO .....	57
FIGURA 73: EXEMPLO DE MÓDULO DE CASA DE BANHO .....	58
FIGURA 74: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS .....	59
FIGURA 75: PAINÉIS DE MADEIRA CLT .....	60
FIGURA 76: APLICAÇÃO DE PAINÉIS CLT EM COBERTURAS .....	60
FIGURA 77: PLACAS OSB .....	61
FIGURA 78: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DAS PLACAS OSB .....	61
FIGURA 79: PAINEL DE MADEIRA LVL .....	61
FIGURA 80: EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA MADEIRA LVL .....	61
FIGURA 81: CONSTITUIÇÃO DE UM PAINEL SIP .....	62
FIGURA 82: PAINEL SANDWICH COM CAMADAS EM BACRFA E CONECTORES EM GFRP .....	64
FIGURA 83: PROTÓTIPO CONSTRUÍDO COM PAINÉIS SANDWICH COM CAMADAS EM BACRFA E CONECTORES EM GFRP .....	65
FIGURA 84: PAINÉIS DE BETÃO PRÉ-FABRICADO .....	66
FIGURA 85: MESA BASCULANTE .....	66
FIGURA 86: ESTRUTURA EXECUTADA COM PAINÉIS ESTRUTURAIS .....	68
FIGURA 87: ESTRUTURA EXECUTADA COM PAINÉIS DE REVESTIMENTO .....	68
FIGURA 88: PAINEL EM BETÃO BRANCO TEXTURADO .....	69
FIGURA 89: PAINEL DE BETÃO PIGMENTADO .....	69
FIGURA 90: TRÊS TIPOS DE SISTEMAS LATERAIS .....	70
FIGURA 91: PERFIL DE SECÇÃO EM L .....	71
FIGURA 92: PERFIL DE SECÇÃO EM C .....	71
FIGURA 93: PERFIL DE SECÇÃO EM U .....	71
FIGURA 94: ESTRUTURA EXECUTADA EM LSF .....	72
FIGURA 95: REVESTIMENTO DA ESTRUTURA LSF COM PLACAS OSB .....	72
FIGURA 96: FUNDAÇÕES DE UMA ESTRUTURA EXECUTADA COM “FRAME” DE MADEIRA .....	73
FIGURA 97: ESTRUTURA EXECUTADA COM “FRAME” DE MADEIRA .....	74
FIGURA 98: TIPOS DE “FRAMES” .....	75
FIGURA 99: PILARES PRÉ-FABRICADOS .....	76
FIGURA 100: ESTRUTURA EXECUTADA COM “FRAME” DE BETÃO PRÉ-FABRICADO .....	77
FIGURA 101: PROCESSO DE TRANSPORTE DE PAINÉIS DE BETÃO .....	79
FIGURA 102: PROCESSO DE ELEVAÇÃO DE PAINÉIS DE BETÃO .....	79

---

---

FIGURA 103: TIPOS DE JUNTAS.....	80
FIGURA 104: ESTRUTURA DO EDIFÍCIO DALSTON WORKS.....	82
FIGURA 105: EDIFÍCIO DALSTON WORKS FINALIZADO.....	82
FIGURA 106: PLANTA DO EDIFÍCIO PHOENIX COURT .....	83
FIGURA 107: EDIFÍCIO PHOENIX COURT TERMINADO .....	83
FIGURA 108: PORMENOR DA CONSTRUÇÃO DO EDIFÍCIO .....	85
FIGURA 109: EDIFÍCIO KINGSPAN NEWCASTLE TERMINADO .....	85
FIGURA 110: BIM - BUILDING INFORMATION MODELING.....	86
FIGURA 111: DIVERSAS DIMENSÕES DO BIM .....	87
FIGURA 112: NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO (LOD) EM AMBIENTE BIM .....	89
FIGURA 113: EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO BIM 4D NA CONSTRUÇÃO .....	90
FIGURA 114: NUMERAÇÃO DOS ALOJAMENTOS.....	93
FIGURA 115: TIPOLOGIA DE QUARTO MAIS COMUM .....	94
FIGURA 116: ALOJAMENTO J.....	94
FIGURA 117: ALOJAMENTO I .....	94
FIGURA 118: CONSTITUIÇÃO DA PAREDE DE FACHADA 1 .....	96
FIGURA 119: CONSTITUIÇÃO DA PAREDE DE FACHADA TIPO 2.....	96
FIGURA 120: CONSTITUIÇÃO DA PAREDE DE FACHADA TIPO 3.....	97
FIGURA 121: COMPOSIÇÃO DA PAREDE DIVISÓRIA .....	97
FIGURA 122: COMPOSIÇÃO DA PAREDE INTERIOR.....	98
FIGURA 123: COMPOSIÇÃO DO PISO DOS QUARTOS.....	99
FIGURA 124: CONSTITUINTES DO TETO DOS ALOJAMENTOS.....	99
FIGURA 125: NÚCLEO RÍGIDO DO PROJETO IN-SITU .....	100
FIGURA 126: NUMERAÇÃO DAS VIGAS, PILARES, CAIXAS DE ELEVADORES E CAIXA DE ESCADAS .....	101
FIGURA 127: LOCALIZAÇÃO DAS CORETES.....	108
FIGURA 128: EXEMPLO DE SISTEMA AVAC .....	111
FIGURA 129: CATEGORIAS DE RISCO DA UTILIZAÇÃO-TIPO VII "HOTELEIROS E RESTAURAÇÃO".....	113
FIGURA 130: COMPOSIÇÃO DA PAREDE DIVISÓRIA .....	115
FIGURA 131: COMPOSIÇÃO DA PAREDE DE FACHADA .....	116
FIGURA 132: COMPOSIÇÃO DA PAREDE INTERIOR.....	117
FIGURA 133: COMPOSIÇÃO DA LAJE DE PISO .....	118
FIGURA 134: ESTRUTURA DE SUPORTE PARA TETO FALSO.....	119
FIGURA 135: CAMIÃO PORTA-CONTENTOR.....	122
FIGURA 136: ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIL I .....	124
FIGURA 137: ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIL U .....	124
FIGURA 138: CARACTERÍSTICAS DA CANTONEIRA.....	125
FIGURA 139: ESTRUTURA METÁLICA COM PERFIL EM L.....	125
FIGURA 140: NOMEAÇÃO DAS FACES DA CANTONEIRA.....	125
FIGURA 141: DISPOSIÇÃO DAS VIGAS.....	126
FIGURA 142: PORMENORES CONSTRUTIVOS .....	126
FIGURA 143: ESTRUTURA RESULTANTE .....	127
FIGURA 144: SECÇÕES DO MÓDULO DE SUÍTE.....	128
FIGURA 145: PORMENOR CONSTRUTIVO 1 .....	128
FIGURA 146: PORMENOR CONSTRUTIVO 2 .....	128
FIGURA 147: ESTRUTURAS RESULTANTES .....	129
FIGURA 148: CARACTERÍSTICAS DO PERFIL TUBULAR .....	130
FIGURA 149: PERFIL TUBULAR RETANGULAR.....	130
FIGURA 150: ESTRUTURA RESULTANTE .....	131
FIGURA 151: POSICIONAMENTO DO MÓDULO COMUM E DE SUÍTE LADO A LADO .....	132
FIGURA 152: SOLUÇÕES PARA LIGAÇÕES ENTRE OS MÓDULO.....	133
FIGURA 153: DISPOSIÇÃO DO MÓDULO COMUM DO MÓDULO DE SUÍTE.....	134
FIGURA 154: SOLUÇÕES PARA LIGAÇÕES ENTRE MÓDULOS .....	135

---

FIGURA 155: CONTRAVENTAMENTO TOTAL NO MÓDULO (À ESQUERDA) E PORMENOR CONSTRUTIVO (À DIREITA) .....	136
FIGURA 156: CHAPAS DE APOIO NOS PILARES DO MÓDULO (À ESQUERDA) E PORMENOR CONSTRUTIVO (À ESQUERDA) .....	137
FIGURA 157: CHAPA DE APOIO .....	138
FIGURA 158: MÓDULO DE SUÍTE SECCIONADO (À ESQUERDA) E MÓDULO DE SUÍTE ASSEMBLADO (À DIREITA) .....	139
FIGURA 159: UNIÃO ENTRE OS ELEMENTOS PARA CRIAÇÃO DO MÓDULO .....	140
FIGURA 160: DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS LADO A LADO .....	141
FIGURA 161: DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS VIZINHOS AO MÓDULO DE SUÍTE .....	142
FIGURA 162: LIGAÇÃO DO MÓDULO DE SUÍTE AOS MÓDULOS VIZINHOS .....	143
FIGURA 163: ASSEMBLAGEM DOS MÓDULOS POR SOBREPOSIÇÃO .....	145
FIGURA 164: PORMENORES CONSTRUTIVOS DO ASSENTAMENTO DAS CHAPAS .....	146
FIGURA 165: PRIMEIRO PASSO PARA A CONCEÇÃO DO MÓDULO .....	147
FIGURA 166: INSTALAÇÃO DOS PILARES SECUNDÁRIOS .....	147
FIGURA 167: ESTRUTURA COM AS VIGAS DE BORDADURA, TIRANTES E CHAPAS DE APOIO .....	148
FIGURA 168: LAJE DE PISO COM ABERTURA PARA CORETE .....	149
FIGURA 169: REPRESENTAÇÃO DO PISO CLT COM MANTA INTEGRADA .....	149
FIGURA 170: ESQUEMATIZAÇÃO DOS CONSTITUÍNTES DA PAREDE DE GESSO CARTONADO .....	149
FIGURA 171: TIPOS DE PAREDES QUE DELIMITAM OS MÓDULOS .....	150
FIGURA 172: REPRESENTAÇÃO DA PAREDE DIVISÓRIA E DA PAREDE DE CORETE .....	151
FIGURA 173: REPRESENTAÇÃO DA PAREDE DE FACHADA .....	151
FIGURA 174: MÓDULO PRONTO PARA TRANSPORTE .....	152
FIGURA 175: MÓDULO COM ACABAMENTOS APLICADOS .....	153
FIGURA 176: LOCALIZAÇÃO DAS LAJES NAS CANTONEIRAS .....	154
FIGURA 177: MÓDULOS COLOCADOS LOCAL DE OBRA (À ESQUERDA) E VISTA EM PLANTA (À DIREITA) .....	154
FIGURA 178: ESQUEMA DE LIGAÇÃO LAJE DE QUARTO - LAJE DE CORREDOR .....	155
FIGURA 179: ESQUEMA DE LIGAÇÃO LAJE DE CORREDOR - LAJE DE CORREDOR .....	156
FIGURA 180: SECCIONAMENTO DOS ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO .....	156
FIGURA 181: EXECUÇÃO DA PAREDE DE FACHADA .....	157
FIGURA 182: CRAVAÇÃO DAS CANTONEIRAS NAS VIGAS .....	158
FIGURA 183: ASSEMBLAGEM DA SECÇÃO 2 .....	159
FIGURA 184: REPRESENTAÇÃO DO MÓDULO DE SUÍTE E MÓDULOS QUE O DELIMITAM .....	159
FIGURA 185: CANTONEIRA (REPRESENTADA A AZUL) SOLDADA À CANTONEIRA DO MÓDULO .....	160
FIGURA 186: LAJE (SECÇÃO 3) ASSEMBLADA .....	160
FIGURA 187: CANTONEIRAS CHUMBADAS NA VIGA E PAREDE RESISTENTE .....	161
FIGURA 188: ASSEMBLAGEM DA SECÇÃO 4 DO CORREDOR .....	162
FIGURA 189: EXECUÇÃO DA PAREDE DE FACHADA E ASSEMBLAGEM DA LAJE DE CORREDOR .....	162
FIGURA 190: BETONAGEM DOS MACIÇOS E INSERÇÃO DAS CANTONEIRAS ATÉ AO SEGUNDO PISO .....	165
FIGURA 191: ESTRUTURA PORTICADA DE BETÃO ARMADO .....	165
FIGURA 192: DISPOSIÇÃO DOS MÓDULOS .....	166
FIGURA 193: PISO 1 TERMINADO .....	166
FIGURA 194: BETONAGEM DOS NÚCLEOS DO TERCEIRO PISO E INCLUSÃO DAS CANTONEIRAS .....	167
FIGURA 195: PISO 2 COM MÓDULOS ASSEMBLADOS E CORREDORES EXECUTADOS .....	168
FIGURA 196: BETONAGEM DO NÚCLEO DO QUARTO PISO E VIGAS CHUMBADAS NOS MESMOS .....	168
FIGURA 197: ASSEMBLAGEM DOS MÓDULOS DO TERCEIRO PISO E EXECUÇÃO DA PAREDE DE FACHADA .....	168
FIGURA 198: ASSENTAMENTO DOS MÓDULOS DO TERCEIRO PISO .....	169
FIGURA 199: EXECUÇÃO DOS ESPAÇOS DE CIRCULAÇÃO .....	169
FIGURA 200: COLOCAÇÃO DOS MÓDULOS DO QUARTO PISO .....	170
FIGURA 201: EXECUÇÃO DAS PAREDES DE CORREDOR .....	170
FIGURA 202: COLOCAÇÃO DOS PAINÉIS DE FACHADA NO ÚLTIMO PISO .....	170
FIGURA 203: ACABAMENTOS NO QUARTO PISO E VISTA EM PLANTA .....	171
FIGURA 204: EDIFÍCIO PRATICAMENTE CONCLUÍDO .....	171

FIGURA 205: CHAPA SANDWICH PARA COBERTURA .....172

## **ÍNDICE DE TABELAS**

TABELA 1: DIMENSÕES DOS ESPAÇOS DOS ALOJAMENTOS	95
TABELA 2: DIMENSÕES DAS VIGAS, POR PISO (CONTINUA)	102
TABELA 3: DIMENSÕES DOS PILARES, POR PISO (CONTINUA)	104
TABELA 4: TABELA DE UTILIZAÇÃO-TIPO	112
TABELA 5: CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS SEGUNDO A REAÇÃO AO FOGO	114
TABELA 6: TABELA RESUMO DOS MATERIAIS UTILIZADOS EM AMBOS OS PROJETOS (CONTINUA)	119
TABELA 7: DIMENSÕES DO MÓDULO COMUM E DAS SECÇÕES DO MÓDULO DE SUÍTE	123
TABELA 8: TABELA RESUMO COM OS ELEMENTOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS PARA CADA PROJETO (CONTINUA)	138
TABELA 9: DIFERENTES TIPOS DE LIGAÇÃO A REALIZAR ENTRE OS ELEMENTOS	140
TABELA 10: DIFERENTES TIPOS DE LIGAÇÃO A REALIZAR ENTRE OS ELEMENTOS	141
TABELA 11: TIPOS DE LIGAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS COMUNS E OS MÓDULOS DE SUÍTE	144
TABELA 12: DIMENSÕES DAS LAJES	157

## **CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Enquadramento geral**

A globalização e evolução das tecnologias contribuíram para aumentar a eficiência de processos de produção, bem como a qualidade dos produtos finais. A década de 90 foi particularmente profícua ao nível do desenvolvimento tecnológico e impulsionadora dos mais diversos setores da economia, incluindo o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), tendo-se verificado um aumento quer da oferta dos serviços e produtos, quer da própria competitividade das empresas dos mais variados setores (Costa, 2013). No entanto, comparando o setor da AEC com outros setores tecnologicamente mais emergentes, ainda se verifica que o setor da construção continua a dar ênfase aos métodos tradicionais de construção e conseqüentemente renitente à introdução de inovações tecnológicas.

De um modo simplista, a construção tradicional, subentenda-se como a mais usual, pode ser caracterizada como a construção que recorre à utilização combinada de elementos reticulados estruturais em betão armado e panos de alvenaria pois, conforme referido, é o tipo de construção mais utilizado em Portugal, em parte por não necessitar de um grau de especialização significativo de mão de obra ao contrário, por exemplo, de outras soluções como estruturas metálicas e de madeira. No setor da construção, os conceitos de pré-fabricação e modularização apresentam várias vantagens relativamente à construção *in situ*, nomeadamente maior eficiência, menor risco de acidentes de trabalho em estaleiro devido à redução das operações *in situ*, redução de custos e tempo de construção, maior qualidade e elevada flexibilidade, dado que existe uma total liberdade e criatividade na criação e modificação deste tipo de construção.

De um modo geral, o setor da construção apresenta ainda um elevado número de emissões poluentes, assim como um elevado consumo de matérias primas, acentuando por isso a sua nefasta pegada ecológica. Atualmente o betão é a segunda substância mais consumida no mundo, apenas suplantada pela água, sendo emitidas para a atmosfera cerca de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> na produção de 1 tonelada de betão. Por esta e outras razões, o conceito de “sustentabilidade” é cada vez mais abordado nos múltiplos setores, bem como no setor da construção dado o consumo brutal de matérias primas neste. Deste modo é premente que o setor da construção se adapte e reinvente de modo a contribuir para um desenvolvimento sustentável, protegendo-se assim o futuro das gerações vindouras (F. M. C. Freitas, 2014).

Assim, este setor apresenta atualmente maiores dificuldades e desafios, e a única maneira de responder

às exigências é apostando na inovação de modo a que haja uma diminuição de custos, aumento de produtividade e eficiência através do incremento da qualidade nos processos de produção e consequentemente num produto final mais resiliente e sustentável (Couto & Couto, 2007).

A construção modular apresenta-se como sendo uma solução vantajosa para satisfazer as necessidades apresentadas anteriormente pois apresenta fortes potencialidades ao nível da sustentabilidade, produtividade e gestão de processos (Costa, 2013), permitindo a racionalização construtiva, a otimização da quantidade de recursos e matérias primas a utilizar, assim como aumentar cada vez mais a sua versatilidade através da combinação de distintos materiais e processos de produção mais industrializados.

## **1.2. Objetivos**

A construção modular pode ser um dos motores para impulsionar o setor numa tendência de crescimento e afirmação enquanto indústria produtiva, racionalizada, sustentável e competitiva, ultrapassando desafios e exigências atuais. Assim, o objetivo desta dissertação é mostrar que a construção modular pode ser tão ou mais vantajosa e versátil que a construção tradicional e, por isso, será utilizado um projeto de construção tradicional como estudo de caso.

Neste âmbito proceder-se-á:

- Seleção de um projeto de construção tradicional, leia-se, com construção *in-situ*, com potencial para a sua modularização: Tentar-se-á procurar uma construção de média dimensão e em que haja uma certa repetição das tipologias habitacionais;
- Desenvolvimento de um sistema modular;
- Modelação parametrizada da unidade modular em BIM;
- Resolução de problemas que condicionem a modelação do módulo e do edifício
- Aplicação das soluções de modo a obter um módulo funcional e uma estrutura coesa e monolítica após montagem.

De notar que, por este projeto se tratar de uma tentativa de transformação de um projeto de construção *in-situ* num projeto de construção modular, poderá não seguir as diretrizes de dimensionamento e o processo construtivo de um projeto de construção modular convencional. É objetivo deste trabalho abordar a modularização mais de um ponto de vista conceptual, não descurando os aspetos técnicos relevantes, mas sem se realizar um dimensionamento rigoroso.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

O trabalho realizado no âmbito desta dissertação está dividido em 5 capítulos principais.

O Capítulo 1, nomeadamente, Introdução visa enquadrar o tema / trabalho e as motivações intrínsecas que conduziram ao seu desenvolvimento, bem como a exposição dos objetivos e o modo de organização do presente trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica, baseia-se no levantamento literário de um conjunto de tópicos indispensáveis à realização do trabalho. Neste são abordados temas como a história da construção, processos construtivos e materiais relacionados com a construção tradicional e construção modular.

No Capítulo 3 – Projeto de Modularização de Unidade Hoteleira é efetuada uma análise de um projeto de construção *in-situ*, o qual será depois conceptualizado para um projeto de construção modular. Neste capítulo é feito um levantamento das condicionantes à modularização, as quais são solucionadas sequencialmente ao longo do capítulo e, simultaneamente, conceptualizado um módulo com essas mesmas soluções. Finalmente, é modelado um piso exemplo que serve de referência para o capítulo 4.

O Capítulo 4 – Faseamento Construtivo resume-se à modelação da unidade hoteleira, com a integração de todas as soluções modulares que foram desenvolvidas e apresentadas no capítulo 3, e posteriormente assembladas e compatibilizadas a uma estrutura em betão armado que teve de ser construída *in-situ* devido a restrições arquitetónicas.

O Capítulo 5 – Síntese do Trabalho, e último capítulo da dissertação, engloba as considerações finais, o levantamento dos objetivos alcançados com o trabalho, bem como a identificação de problemas.

O presente trabalho dispõe de uma secção dedicada aos anexos.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. História da construção**

#### **2.1.1. Construção na Pré-História**

Há 15 bilhões de anos deu-se a formação do Universo e há 4,5 bilhões a do planeta Terra, mas a história da civilização humana começou muito depois. Este período designa-se de Pré-História e é o período mais antigo e longo da humanidade. Apesar da inexistência de documentos ou registos e da difícil reunião de dados rigorosos sobre este período sabe-se que a Pré-História se divide em vários períodos: o Paleolítico (500 000 – 18 000 a.C.), o Neolítico (18 000 – 5000 a.C.) e a Idade dos Metais (5000 – 4000 a.C.) (Abiko et al., 1995).

No período Paleolítico os homens eram nómadas e dedicavam-se sobretudo à pesca, à caça, à recolha de alimentos e à criação dos primeiros instrumentos, como arcos, setas e objetos em pedra. A isto seguiu-se uma diminuição das fontes de alimento e o homem viu-se obrigado a voltar à atividade da colheita, levando as comunidades nómadas a praticarem o sedentarismo e a desenvolver técnicas de agricultura. Durante este período o homem refugiava-se nos lugares que a natureza lhes oferecia, ou seja, encontravam refúgio em aberturas nas rochas, cavernas ou grutas ao pé de montanhas (Kaefer, 1998).

Com o homem a entrar num estado de sedentarismo introduziu-se assim o período Neolítico. Este período caracteriza-se pelo surgimento da agricultura e plantação de plantas comestíveis, pela domesticação de animais, pelo fabrico de diferentes objetos, pela organização do espaço que habita, a formação dos primeiros agrupamentos humanos e, conseqüentemente, o nascimento de habitações permanentes, as primeiras cidades e aldeias. É no final deste período que aparecem as primeiras construções de pedra, a primeira arquitetura monumental, de carácter cerimonial ou fúnebre. Existem três tipos de formações megalíticas: os dólmenes ou antas, os menires e os cromeleques.

Os dólmenes ou antas (figura 1) são monumentos sob *tumuli*, providos de câmaras fechadas ou abertas e com ou sem corredor, de âmbito sepulcral e religioso, encontrando-se frequentemente agrupados em espaços relativamente restritos, formando grandes necrópoles.



Figura 1: Dólmen ou anta

(<http://www.patrimoniocultural.gov.pt/static/data/cache/f3/f3/f3f3f4f796aa6bea4e929dd4fb0a0b0a.jpg>)

Os menires (figura 2) são pedras colocadas na vertical, isoladamente ou em fileiras, de diferentes dimensões e volumes (Gonçalves et al., 2009). Já os cromeleques (figura 3) são menires dispostos em círculo.



Figura 2: Menir

(<https://mood.sapo.pt/wp-content/uploads/2029/02/113.jpg>)



Figura 3: Cromeleque

(<https://nationalgeographic.sapo.pt/images/revistas/195/GRandeAngular/CromLogo.jpg>)

Finalmente, e com a compreensão da técnica de fundição dos metais, inaugurou-se a Idade dos Metais. Neste período o homem abandona progressivamente os instrumentos de pedra, dedicando-se à produção, inicialmente, de cobre, estanho e bronze e depois de ferro.

Os novos meios que a pastorícia e a agricultura colocaram à disposição do Homem permitiram-lhe não estarem dependentes da caça e, com a sedentarização, começaram a emergir as primeiras sementes da civilização, começando a implantar a primeiras cidades. Estas situavam-se em extensas planícies e junto aos rios, fator que favorecia atividades como a agricultura, a atividade piscatória, a navegação

costeira e o comércio.

Foi desta forma que as antigas aldeias neolíticas deram origem aos primeiros centros urbanos e formas de civilização. Assim, com o contínuo aumento populacional e com a prática da agricultura, surgiu um novo estilo de vida, o qual induziu a mudanças fundamentais na economia e nas ordens social, tecnológica e ideológica (Abiko et al., 1995).

### **2.1.2. Construção na Mesopotâmia**

A região do Médio Oriente situada entre os rios Tigre e Eufrates, na Ásia Ocidental, também designada de Mesopotâmia, foi o berço das primeiras civilizações. Os mesopotâmicos criaram uma rede comercial através dos seus rios e formaram uma hierarquização social forte, organizada em pequenas cidades-estado (Lourenço & Branco, 2012) (figura 4).

Como habitavam áreas de planícies aluviais construíram redes de valas de irrigação, canais, locais de moradia junto às represas (Abiko et al., 1995), diques e canais a fim de controlar a violência das águas do rio Tigre e a natural ameaça de escassez de água. Relativamente à construção habitacional, esta era de planta circular ou quadrada disposta em torno de um pátio. A disposição destas encaixava sobre uma grelha ortogonal e os recursos principais de construção eram o adobe e as vigas de madeira (Lourenço & Branco, 2012).

Estas construções eram executadas com tijolos de barro cozido, maleáveis mas pouco resistentes e sobre solos com pouca capacidade suporte, tendo sido utilizadas esteiras de fibras de fibras vegetais para reforçar a estruturas dos zigurates, de modo a combater os esforços de tração que tendem a desmoronar o maciço (Kaefer, 1998).



Figura 4: Exemplo de uma cidade Mesopotâmica  
(<https://conhecimentocientifico.r7.com/wp-content/uploads/2019/10/mesopotmia-1024x650.jpg>)

### **2.1.3. Construção no Egito**

A civilização egípcia é uma das mais antigas civilizações do mundo.

A sua localização ideal, no vale do Nilo, propiciou o surgimento de uma nova civilização agrária. O rio, para além de incitar à atividade da pesca e de ajudar a fertilizar as terras agrícolas, era também uma grande via de comércio, surgindo assim o comércio internacional. Para além das atividades referidas anteriormente, surgia a atividade artesanal com produtos como ourivesaria, olaria, tecelagem e metalurgia.

Os egípcios cresciam, então, em população e em importância e, no topo de uma sociedade fortemente estratificada, surgiu a figura do faraó, que tinha o domínio hegemónico sobre o país inteiro.

Segundo Benevolo (1993), o faraó "*constrói as obras públicas, as cidades, os templos dos deuses locais e nacionais, mas sobretudo sua tumba monumental, que simboliza a sua sobrevivência além da morte e garante, com a conservação de seu corpo, a continuação de seu poder em proveito da comunidade*".

Nas 1ª e 2ª dinastias deu-se a formação do Antigo Egito. Neste período, o povo egípcio foi evoluindo e aprimorando os seus dotes na arte e aprimorando as suas técnicas, por exemplo em obras de cantaria e metalurgia do cobre. Contudo, é a partir da 3ª dinastia que a produção artística e a arquitetura assumem uma grandiosidade notável e única. Este período ficou marcado pela construção da primeira grande pirâmide, pirâmide esta escalonada e com degraus, e pelos primeiros monumentos feitos inteiramente em pedra trabalhada (Abiko et al., 1995).

Na 4ª dinastia foram construídas as pirâmides em face lisa. As pirâmides (figura 5) foram construídas com pedra, tijolos à base de barro misturado com palha, e argamassas de gipsita e cal (Kaefer, 1998) e os andaimes, para apoio à construção, eram de madeira. Na maior das pirâmides, a estrutura interna é composta por uma série de contrafortes à volta do núcleo central, diminuindo em altura do centro para o exterior, como uma pirâmide de degraus. Para o enchimento dos degraus da parte externa utilizavam-se blocos de enchimento, revestidos depois com blocos de calcário (Pasquale, 2001). Para a colocação dos blocos de pedra foram utilizadas rampas, ao longo das quais os referidos blocos eram arrastados.



Figura 5: Pirâmides egípcias

(<https://super.abril.com.br/wp-content/uploads/2018/07/569002c382bee110460a5babpiramides-face.jpeg>)

#### **2.1.4. Construção Cretense**

A civilização cretense foi uma das civilizações mais notáveis da Antiguidade tendo desenvolvido uma cultura minoica, ou seja, uma arte evocadora da natureza, da vida e da sociedade cretenses. Esta desenvolveu-se entre 2000 e 1400 a.C. e estava fixada na ilha de Creta, situada no Mediterrâneo Oriental, entre a Grécia, a Ásia Menor e o Egito.

Devido à localização estratégica da ilha, os cretenses conseguiram construir uma grandiosa civilização, à base da expansão marítima e do contacto com outras civilizações.

Com o clima mediterrânico e os solos férteis da ilha, os cretenses dedicavam-se ao cultivo de cereais, da oliveira, da vinha, das árvores de fruto e à pecuária, nomeadamente gado ovino e bovino. A civilização cretense dominava também a técnica de construção de barcos e da navegação, assim como os trabalhos com os metais e cerâmica. Eram explorados minérios como ferro e lignite e fabricados vasos ornamentados em cerâmica ou bronze. As atividades anteriormente referidas apresentavam grande peso no comércio e economia levando a uma monopolização do comércio por parte da civilização cretense.

De todas as cidades da ilha de Creta destaca-se Cnossos, principal cidade e um centro administrativo monumental. Esta cidade, na qual ainda existem ruínas bem conservadas de alguns palácios (figura 6), tinha ruas estreitas e pavimentadas e que já acompanhavam as curvas de nível e possuía também rede de água e esgoto (Abiko et al., 1995). Nas construções modestas, os muros e paredes eram construídos por tijolos de barro ou pedra, assentados diretamente uns sobre os outros, ou com argila e reforçados com madeira (Kaefer, 1998). Já nas construções monumentais, os blocos de pedra eram unidos com grampos ou tarugos de ferro, ao invés de argamassa (Kaefer, 1998).

Após o ataque a Cnossos e a sua destruição, em 1400 a.C., a cidade de Micenas passa a ter maior importância e desenvolve-se a civilização micénica. Assim, em torno das cidades mais poderosas constituíram-se reinos independentes, onde o poder monárquico concentrava riquezas ao abrigo de enormes muralhas (Funari, 2002) construídas em alvenaria, denominadas por acrópoles, ou em cidades altas ou palácios fortificados, não existindo contudo redes de drenagem ou de esgotos.



Figura 6: Vestígios da construção cretense  
<https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/04/palacio-de-knossos.jpg>

### 2.1.5. Construção na Grécia

No século VIII a.C. verificou-se uma grande renovação no mundo grego. Começaram a definir-se as cidades, a arte e atividade intelectual tornaram-se mais significativas, iniciando-se um movimento de expansão e de colonização que reforçou e conduziu à fundação de cidades gregas na zona do Mediterrâneo e dos mares vizinhos.

O território grego era formado por 3 partes: continental, peninsular e insular.

A Grécia Continental apresentava numerosas cadeias montanhosas e planícies férteis no seu centro, a Grécia Peninsular apresentava um litoral muito recortado, com golfos e baías e a Grécia Insular apresentava numerosas ilhas, espalhadas pelo Mar Egeu (Abiko et al., 1995).

Por volta do século X a.C. surgiu a capital de uma nova *polis*, a tão famosa Atenas, resultante da união de pequenas vilas e aldeias existentes na planície. Esta foi um importante centro de comércio no centro do mar Egeu pois, como estava localizada a poucos quilómetros do mar e protegida por colinas,

apresentava uma posição geográfica vantajosa.

As cidades-estado gregas tinham características de organização bem definidas. Estas eram constituídas por uma Acrópole, uma Ágora e uma *astu*. A Acrópole situava-se numa zona elevada e, por isso, possuía função defensiva, além de funcionar como sede dos principais lugares de culto. A Ágora era o centro da cidade, um espaço livre com edifícios públicos onde os gregos tratavam dos serviços sociais e políticos e onde realizavam debates, assembleias ou festas. Finalmente, a *astu* era a cidade que se localizava numa zona de baixo relevo, onde se desenvolviam o comércio e as relações civis.

Com as cidades-estado e as suas estruturas já bem definidas, os gregos passaram a contemplar a natureza na sua total harmonia, exprimindo as suas paixões, deleites e entusiasmo pela vida nas suas obras. Também na arquitetura foi possível notar essas ideologias do próprio pensamento grego que, por influência da matemática, refletiam em figuras geométricas com ordens e espaçamentos bem definidos nas construções (Rodrigues, 2018). Assim, a arquitetura clássica começou a dar os primeiros passos e desenharam-se as ordens arquitetónicas (figura 7), das quais se destacam a ordem dórica, a ordem jónica e a ordem coríntia.

A ordem dórica, considerada a mais antiga, desenvolveu-se no decurso do século VII a.C., caracterizando-se pela sua simplicidade e ideia de harmonia e assentando em colunas com base inexistente e capitel curvo. A segunda ordem, a ordem jónica, surgiu durante o século VI a.C. e dava uma sensação de elegância e riqueza decorativa. Esta baseava-se em colunas com uma base e um capitel formado por duas volutas arredondadas. Já no final do século V a.C. nasceu o estilo coríntio, que se destacou pela beleza e decoração do capitel que, para além de possuir volutas, possuía representações de folhas de acanto.

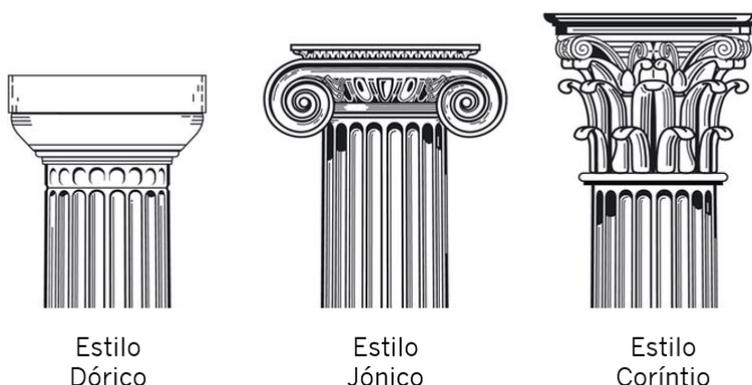


Figura 7: Os três diferentes estilos arquitetónicos  
(<https://www.significados.com.br/foto/arquitetura-grega-significados-71.jpg>)

Os mais antigos edifícios gregos eram em madeira, tijolos secos ao sol e pedra em estado bruto, mas, a

partir do século VII a.C., a utilização de pedra talhada, sobretudo o calcário e o mármore, começou a ser privilegiada. Os blocos eram talhados e esboçados nas pedreiras e depois transportados para o local onde devia surgir o novo edifício. Já no local de obra executavam-se os trabalhos de esquadria até que as pedras ajustassem perfeitamente entre si, para que não houvesse necessidade de utilização de argamassa ou outro material de ligação.

Uma das estruturas mais significativas era o templo. Com a sua forma retangular, assentava sobre uma plataforma de degraus e era composto por uma cela, onde se guardava a imagem da divindade, precedida por um átrio com colunas que sustinham elementos horizontais decorados e nos espaços triangulares formados pelo telhado de duas águas eram inseridas esculturas. Todas as colunas aumentavam de espessura ao longo do seu comprimento, ou seja, as colunas eram mais largas na base do que no capitel, como se cedessem ao peso da estrutura que sustinham. O fundo dos frontões, as esculturas e as cornijas arquitetónicas eram depois pintados (Pasquale, 2001). O Pártenon, mais conhecido tempo grego (figura 8), é exemplo dessa grandiosidade e harmonia arquitetónicas.



Figura 8: Pártenon em Atenas, Grécia  
(<https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2012/06/partenon-74829628-768x512.jpg>)

Uma vez que as edificações gregas eram em pedra, mármore e tijolo foram aplicadas técnicas inovadoras com utilização de ferro para aumentar a confiabilidade das peças estruturais de pedra (figura 9), tal como executado no *Propylaea* em Atenas. Neste monumento, a cobertura de mármore era suportada por uma série de vigas que se apoiam sobre as arquitraves jónicas. As vigas coincidem com as colunas que sustentam as arquitraves e transmitem o seu carregamento diretamente aos pilares por compressão. Entretanto, as vigas posicionadas na metade do vão das arquitraves produzem uma flexão significativa e

originam, consequentemente, esforços de tração nas arquitraves. De modo a reduzir esta flexão foram embutidas barras de ferro na face superior das arquitraves, transferindo-se assim a carga do meio do vão para um ponto mais próximo das colunas. Não obstante, foi deixado um espaçamento de 2,5 cm de altura para permitir a deflexão das barras de ferro, sem que estas entrassem em contacto com as arquitraves (Kaefer, 1998).

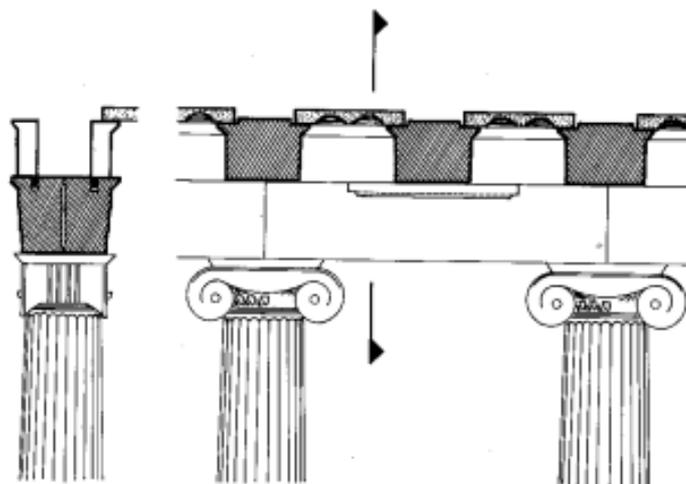


Figura 9: Barra de ferro inserida na viga  
(Retirado de Kaefer, 1998, p.10)

### 2.1.6. Construção Romana

A capacidade de domínio da civilização Romana mostrou ao mundo a avassaladora expansão de um dos maiores impérios de sempre (Oliveira, 2018), devendo-se sobretudo à fácil capacidade da civilização romana de implementar os seus conhecimentos militares e construtivos com rapidez por todo o império. A cidade de Roma, apesar dos traços evidentes de construção e cultura romana, desenvolveu-se com a integração das culturas grega e etrusca. Os romanos, engenhosos de natureza, aperfeiçoaram técnicas construtivas existentes dos precedentes gregos, como a construção de pontes, reservatórios de água e aquedutos e estradas e criaram técnicas de construção como abóbadas e arcos. Assim, a arte romana renunciaria à arquitetura grega a adotaria a sua própria engenharia e arquitetura estética.

Os romanos viviam em casas, designadas por *domus*, ou em apartamentos, designados por *insulae*. As *domus* (figura 10) eram as casas individuais típicas, com um ou dois andares, localizadas num terreno precioso, fechadas na parte externa e abertas para os espaços internos (Benevolo, 1997) e nelas habitavam sobretudo famílias de classe alta e os seus empregados. As *insulae* (figura 11) eram construções coletivas com cerca de 6 ou 7 andares, onde os andares térreos se destinavam a lojas ou

habitações para famílias de classe média e os andares superiores a famílias de classe baixa. Nestes apenas existia abastecimento de água no piso térreo.



Figura 10: Domus romana

(<https://s2.thingspic.com/images/Pe/CFM4uJ1JkZBNp2sDX8wcmkzt.png>)



Figura 11: Insulae romana

([http://1.bp.blogspot.com/\\_5izACyQZuWg/RpL91UZrjZI/AAAAAAAE/ueusQu5swzE/s320/insulae1.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_5izACyQZuWg/RpL91UZrjZI/AAAAAAAE/ueusQu5swzE/s320/insulae1.jpg))

As moradias e os palácios urbanos foram inicialmente construídos em madeira, contudo, com a aplicação de novos materiais como a pedra, foi possível a obtenção de um maior nível de sofisticação e de conforto. Os romanos, para definir as suas fronteiras e minimizar ataques por parte de outras civilizações, executaram construções defensivas como muros. Estes eram construídos com argamassa, utilizada no assentamento de tijolos nas faces externas dos muros e preenchimento dos vazios entre pedaços de pedra ou tijolos quebrados que eram colocados no espaço entre as faces de alvenaria (Kaefer, 1998).

Os muros romanos podiam ser classificados de acordo com o padrão do revestimento usado. Assim, classificavam-se como *opus incertum*, muro com revestimento irregular de pequenos paralelepípedos, *opus reticulatum*, muro com pedras quadradas assentadas diagonalmente, e *opus testaceum*, muro com revestimento de tijolos (Kaefer, 1998). As fundações dos muros variavam consoante o tipo de solo e a estabilidade que estes conferiam. Em solos moles constituídos, por exemplo, por siltes e argilas, as fundações eram executadas com blocos de pedra de cantaria, ou seja, eram cavadas valas de maneira que pudessem ser instaladas as fundações de pedra.

Os romanos foram pioneiros na construção de estradas, infraestruturas estas vitais para o tráfego comercial, o movimento de exércitos e a administração do poder.

Para além da passagem de pessoas e mercadorias era necessário garantir também o transporte, a passagem e o aprovisionamento de água. Isto foi conseguido através da construção de aquedutos (figura 12) de modo a satisfazer, primeiramente, os usos coletivos e só depois os usos individuais.

O processo de construção consistia na identificação de uma fonte adequada, como uma nascente, e no

transporte da água até um tanque de recolha. O transporte era realizado em canais escavados na rocha ou em tubos de chumbo colocados com uma ligeira inclinação e, ao longo do percurso subterrâneo, existiam poços para o arejamento e limpeza do canal. Numa segunda fase, a água dos canais começava a passar sobre os aquedutos até chegar aos tanques de recolha, onde passava por um processo de decantação. Finalmente seguia para os tanques de distribuição, alimentando balneários e fontes públicas, habitações privadas e as termas (Pasquale, 2001).

Era importante para os romanos que a pressão de chegada da água à cidade fosse reduzida de modo que não fosse superado o limite de resistência das tubulações. Para o cumprimento dessa norma a forma e o número de arcos do aqueduto dependiam do tipo de terreno, ou seja, quando era atravessado um vale, o aqueduto era elevado sobre uma ou mais séries de arcadas (Benevolo, 1997).



Figura 12: Aqueduto romano

*([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Pont\\_du\\_Gard\\_Oct\\_2007.jpg/800px-Pont\\_du\\_Gard\\_Oct\\_2007.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d8/Pont_du_Gard_Oct_2007.jpg/800px-Pont_du_Gard_Oct_2007.jpg))*

Não só os romanos dominaram as técnicas de construção na construção urbana e de serviços públicos como dominaram também na construção de monumentos.

O arco, a abóbada e a cúpula foram fundamentais na arquitetura romana pois estes sistemas de cobertura permitiram a criação de espaços muito amplos e a construção em altura, características que estão presentes em monumentos como o Panteão ou o Coliseu de Roma.

O Coliseu (figura 13), ou Anfiteatro Flávio, foi uma grande feito da arquitetura. Esta colossal construção em pedra teve início por volta de 70 d.C. e foi inaugurado em 80 d.C. Com a sua planta elítica e estrutura externa com quatro níveis, apresentava uma altura de fachada de 50 metros e, em planta, um eixo maior

de 188 metros e um eixo menor de 156 metros (Pádua, n.d.) e capacidade para cerca de 70000 espectadores, dimensões pouco vistas até então.

Nesta obra os romanos mostraram não só todo o seu esplendor no campo da arquitetura como também na engenharia, com a introdução de elementos inovadores como o cimento, tijolos e os arcos. Diferentes materiais foram utilizados para os variados elementos estruturais e arquitetônicos que compõem o Coliseu, mostrando uma preocupação pelo lado estético e funcional.

Os blocos de pedra que compõem a sua estrutura foram transportados e elevados em guias guindaste feitas em madeira e, complementarmente, foi utilizado cimento confeccionado com material vulcânico, a pozolana, e areia (Torres, 2015), apesar de falta de conhecimento quanto à sua capacidade resistente. Externamente articulava-se em quatro níveis, três dos quais formados por séries de arcadas sobrepostas, sendo o último de parede contínua interrompida por janelas (Pasquale, 2001), e ainda 80 portas de entrada em forma de arco. A construção dos arcos superiores foi realizada com tijolos, que foram depois assentados com uma argamassa de cal pozolânica. Os tetos das passagens e dos corredores que circundavam a arena consistiam em arcos (Torres, 2015) feitos com uma mistura de areia vulcânica e pó de calcário, equivalente ao betão que existe atualmente. O mármore travertino foi utilizado, estruturalmente, em pilares principais e no piso térreo e, arquitetonicamente, nos lugares, em elementos de decoração como ornamentos e estátuas e no revestimento das paredes de fachada, travado com barras de bronze, embutidos em rochas ou na argamassa (Pádua, n.d.). Já as câmaras subterrâneas eram de tijolos e blocos de calcário e no topo foi incluído um toldo desdobrável para proteger os espectadores do sol.

Devido à sua localização ser em zona de solo bastante heterogéneo e com reduzida rigidez, a fundação do coliseu consistia num anel com 12 metros de profundidade (Kaefer, 1998).



Figura 13: Coliseu de Roma

(<https://escolaeducacao.com.br/wp-content/uploads/2020/06/coliseu-roma-1.jpg>)

Outra obra de grande destaque arquitetônico realizada pela civilização romana foi o Panteão de Roma. Edificado entre 118 e 125 d.C no império de Adriano, o panteão tem como fator de destaque a sua grande cúpula.

Este edifício é constituído por duas zonas, tais como o pórtico, constituído por colunas inspiradas na arquitetura grega, e o domo ou *Rotonda*, considerada como a área principal (figura 14). A segunda zona anteriormente referida é uma sala circular que apresenta uma cúpula com 43,20 metros de diâmetro e altura de 43,20 metros e recorda a célebre descoberta de Arquimedes, relativa ao volume da esfera inscrita num cilindro. Ou seja, é possível imaginar que a *Rotonda* é composta por um cilindro cuja esfera inscrita é coincidente, na parte superior, com a cúpula e a parte inferior está em contacto com o chão (Masi et al., 2018).

A cúpula foi executada em betão não armado de alta qualidade e inertes leves. O betão era constituído por pozolana romana que, em contacto com a água, reagia da mesma maneira que o cimento Portland moderno (Mark & Hutchinson, 1986). Este apresentava boa resistência inicial à compressão e como se tratava de um cimento hidráulico não necessitava de secagem e assentava mesmo estando imerso, estando assim conferidas as características necessárias para a sua aplicação em elementos estruturais maciços de grandes edifícios. Na sua estrutura existiam ainda uma série de anéis concêntricos escalonados, localizados nos arcos e dispostos em torno da superfície externa da cúpula, feitos com blocos cerâmicos de 1,60 metros de espessura (Mark & Hutchinson, 1986) e que tinham como função ajudar a transmitir as cargas.

Com a finalidade de diminuir o peso próprio do betão para diminuição dos esforços de flexão devido às cargas permanentes foi adotada uma estrutura em forma de favo de mel e utilizados materiais de diferentes densidades ao longo de toda a cúpula. Então, na parte superior da cúpula o agregado utilizado foi a pedra-pomes, cuja densidade era inferior à do agregado presente na parte inferior da cúpula.

Para além da cúpula é também de destacar o óculo central nela inserida. Com um diâmetro de 9 metros e revestimento em bronze é, teoricamente, um anel de compressão, resistindo e ajudando a distribuir os esforços criados pelo peso e pela posição da abóbada (Vasconcellos, n.d.).

Tanto arquitetural como estruturalmente esta foi uma construção complexa e majestosa e que levou à execução de outros tantos edifícios semelhantes, no entanto a cúpula do panteão é, ainda hoje, a cúpula mais larga executada com betão não armado que existe.

A contribuição das edificações romanas para a arquitetura monumental provém sobretudo do uso generalizado do arco circular, o que permitiu maiores vãos, tanto para iluminação natural como acessos, e o desenvolvimento da forma arqueada em betão (Mark & Hutchinson, 1986).

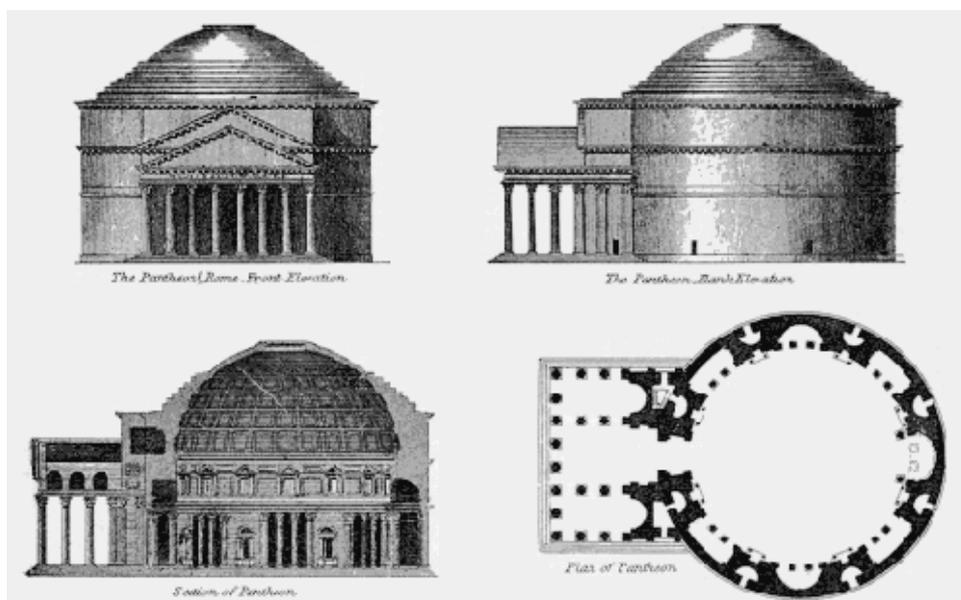


Figura 14: Representação dos alçados e planta do Panteão de Roma  
(<http://www.rasa.net/courses/classprep/intermedia/images/plansectionelevation/pantheon.gif>)

## 2.2. Construção tradicional / *in-situ*

### 2.2.1. Princípios e fundamentos

A construção tradicional, também designada por construção vernacular, pode ser definida como um tipo de construção que se encontra bastante presente numa região ou território, quase como um tipo de

construção cultural, adaptada por exemplo aos recursos disponíveis e ao ambiente existente pois, ao longo do tempo, as civilizações foram desenvolvendo técnicas de construção perfeitamente adaptadas aos condicionalismos com o objetivo de atingir as melhores condições de conforto.

Este tipo de construção, quando adaptada às condições locais como topografia, localização e clima, oferece inúmeras vantagens. Podemos enumerar a utilização de materiais de construção naturais e na menor quantidade possível, o baixo conteúdo energético do material, o isolamento térmico natural através da orientação apropriada do edifício, a valorização do mercado de trabalho local, o fácil manuseio dos materiais e a adaptação às condições mais adversas (Dirlich, 2012). No entanto, nos países onde o custo de mão de obra é mais alto, existe uma preferência na utilização de métodos modernos de construção, como a pré-fabricação, ao invés da construção tradicional, existindo também uma maior limitação no tipo de materiais a utilizar.

Em Portugal, devido à grande variedade geográfica e climática, é possível verificar uma grande diversidade de arquitetura vernacular (Portela, 2018). Assim, em zonas de montanha são utilizados materiais como xistos e granitos, e em zonas de litoral predomina a utilização das argilas e os tijolos de adobe, assim como a madeira, a taipa e cal. Nos tempos modernos, a construção tradicional, subentenda-se neste particular caso como a mais usual, pode ser caracterizada como a construção que recorre à utilização combinada de elementos reticulados estruturais de betão armado e panos de alvenaria pois, conforme referido, é o tipo de construção mais utilizado em Portugal na atualidade, em parte por não necessitar de um grau de especialização significativo de mão de obra, ao contrário, por exemplo, de outras soluções como estruturas metálicas e de madeira.

### **2.2.2. Materiais**

#### **Pedra**

A pedra é um aglomerado de partículas consolidadas resultante da acumulação e junção natural dos minerais que a compõem. Os tipos de minerais presentes na sua composição interferem diretamente na sua textura e estrutura. As pedras naturais são dos materiais mais antigos do ramo da construção e podem ser aplicadas sem necessidade de alteração do seu estado natural.

Desde a era primitiva que este material é utilizado para a construção de habitações e proteções, como por exemplo as grutas, destinadas à permanência por longos períodos. Tem como características a sua boa durabilidade, moderada trabalhabilidade e estética agradável, para além da sua boa resistência mecânica à compressão.

Com a sua vasta e generalizada aplicação ao longo dos tempos, a pedra tornou-se num dos materiais mais utilizado e de maior duração.

As pedras mais utilizadas são, por exemplo, os mármore e os granitos (figura 15 e figura 16, respetivamente). Os mármore, devido à sua atrativa aparência, são geralmente aplicados em objetos de decoração e ornamentação, revestimento de ambientes internos, paredes e pisos. O granito pode ser utilizado como agregado para betão, na confecção de muros e fundações e como rocha ornamental em paredes e pisos.



Figura 15: Mármore

*(<http://prgrupoparana.com/wp-content/uploads/2017/03/M%C3%A1rmore-CI%C3%A1ssico-PR-Diferen%C3%A7a-entre-m%C3%A1rmore-e-granito.jpg>)*



Figura 16: Granito

*(<http://prgrupoparana.com/wp-content/uploads/2017/03/Granito-Cinza-Mau%C3%A1-diferen%C3%A7a-entre-m%C3%A1rmore-e-granito.jpg>)*

## **Madeira**

A madeira é um material de origem biológica, formado por uma matéria heterogénea e anisotrópica (Cruz & Nunes, n.d.) derivada das árvores.

É um material que, usualmente, apresenta excelentes propriedades que a tornam adequada para o uso humano. Pode ser fabricada com uma variedade ilimitada de formas e tamanhos, é facilmente usável e apresenta boa resistência mecânica, contudo as suas características e comportamento dependem de fatores como a disponibilidade de água, condições climáticas e natureza do solo.

A resistência da madeira resulta da espécie florestal e da qualidade das peças, ou seja, a resistência será menor se houver presença de defeitos, nomeadamente nós e fendas. É também suscetível a deterioração devido a agentes biológicos, como insetos e fungos, devido às ações mecânicas, como o desgaste por parte da atuação das ações ou cargas, e à ação do fogo. Contudo, é um material resistente a ambientes químicos, o que a torna apta para utilização em ambientes agressivos, sem necessidade de

cuidados de manutenção especiais.

A madeira (figura 17) é assim o material mais antigo utilizado pela civilização para a construção, apenas superado pela pedra.



*Figura 17: Madeira como material de construção*  
(<https://www.vskills.in/certification/blog/wp-content/uploads/2015/02/timber-as-construction-material.jpg>)

## **Betão**

O betão é uma pedra artificial, com um aglomerado de pedras naturais desde as areias até às britas e com dimensões variáveis aglutinadas por um ligante. Para a sua confeção utiliza-se uma mistura de areia, brita, godo, cimento e água, de modo a obter uma mistura o mais homogénea e plástica possível (Aguiar, 2009). Adicionalmente, podem ser utilizados uma panóplia de aditivos e/ou adições com vista a obter determinadas propriedades, quer no estado fresco, quer no estado endurecido.

A escolha dos materiais e respetivo doseamento é muito importante para a obtenção de um betão compacto, sem segregação, com boa trabalhabilidade e facilidade de execução. Quando em obra, a amassadura do betão pode ser mecânica ou manual.

A amassadura mecânica faz-se por meio de betoneiras (figura 18), quando se pretende uma pequena quantidade de betão, ou por meio de centrais industriais. Com o recurso a centrais industriais é possível a confeção de betões com melhor qualidade, maior produtividade de fabrico, a redução de mão-de-obra e maior garantia de que o produto que lhe é fornecido obedece às características impostas pelo projeto (Aguiar, 2009), o qual é depois transportado através de camiões betoneira (figura 19).



Figura 18: Amassadura por meio de betoneira  
([http://correiodosul.com/wp-content/uploads/2018/04/p\\_aluguel-de-betoneira-preco-sp-26-763x445.png](http://correiodosul.com/wp-content/uploads/2018/04/p_aluguel-de-betoneira-preco-sp-26-763x445.png))



Figura 19: Camião betoneira  
([https://blog.superbid.net/wp-content/uploads/2019/07/shutterstock\\_592096331.jpg](https://blog.superbid.net/wp-content/uploads/2019/07/shutterstock_592096331.jpg))

O betão pode ser definido quanto à sua consistência e conforme os valores do teste de *slump*, fatores estes que influenciam no local de aplicação do mesmo. Nesse caso, o betão pode ter consistência terra-húmida, quando apresenta aspeto de terra e pode ser utilizado para confecção de vigotas de pré-esforço, pavimentos de estradas ou aeródromos, consistência plástica, o mais comum e utilizado no betão armado, e consistência fluída, para betões que se destinam a ser bombeados (Aguiar, 2009).

Para além da sua consistência podem ainda ser classificados pela classe de exposição que está relacionada a ações ambientais. Ou seja, a classificação do betão altera caso existam, ou não, riscos de corrosão ou ataque. A corrosão pode ser induzida por carbonatação ou por cloretos e os ataques podem ser devido a gelo/degelo ou de natureza química. Logo, diferentes superfícies do betão podem estar submetidas a diferentes ações ambientais para um mesmo elemento estrutural.

Usualmente, e em elementos estruturais, não se utiliza o betão por si só, sendo acrescentadas armaduras, obtendo-se o habitual betão armado (figura 20).



Figura 20: Peça em betão armado  
(<https://www.ofitexto.com.br/wp-content/uploads/2018/09/concreto-armado-01.jpg>)

## Alvenaria

Os tijolos são um material de construção fabricado com recurso a matérias primas como a areia siliciosa e a caulinite e estes são macios, porosos e riscam facilmente.

O processo de cozedura dá-se entre os 800°C e os 1000°C podendo ser moldados em prensa ou por passagem em feiras. Este último processo consiste na extrusão de uma pasta que é depois cortada com a dimensão pretendida.

Podem ser classificados como tijolos maciços, de furação vertical e de furação horizontal.

Os tijolos maciços (figura 21) são utilizados na execução de paredes resistentes ou de muros e os furados (figura 22) são empregues em paredes divisórias dos mais diferentes tipos de edificações. Nos tijolos de furação vertical os eixos dos furos ficam colocados perpendicularmente ao plano de assentamento do tijolo (Aguiar, 2009) enquanto nos de furação horizontal estes ficam colocados paralelamente.



Figura 21: Tijolos maciços

(<http://cepazzi.com.br/wp-content/uploads/2015/11/tijolo-extra.jpg>)



Figura 22: Tijolo furado

([https://preceram.pt/wp-content/uploads/2019/05/tijolo11\\_preceram.jpg](https://preceram.pt/wp-content/uploads/2019/05/tijolo11_preceram.jpg))

No entanto, existe ainda outra maneira de classificar estes produtos cerâmicos. Segundo a norma harmonizada (Especificações Para Unidades de Alvenaria. Parte 1: Unidades Cerâmicas, 2016) podem ser classificados consoante o valor da sua massa volúmica seca bruta. Então, os tijolos LD são os que apresentam massa volúmica seca bruta inferior ou igual a 1000 kg/m<sup>3</sup> e os tijolos HD têm massa volúmica seca bruta superior a 1000 kg/m<sup>3</sup>.

Os tijolos são um material bastante utilizado nas edificações pois apresentam uma boa aderência às argamassas, principalmente nos tijolos furados uma vez que a argamassa penetra nos furos.

### 2.2.3. Elementos construtivos

As estruturas de betão armado são normalmente constituídas por uma parte não resistente com função de compartimentação, preenchimento e outra parte resistente, isto é, com função estrutural.

Relativamente à parte resistente e estrutural, no caso de estruturas porticadas, fazem parte os seguintes elementos: sapata, viga, pilar e laje.

A sapata (figura 23) é um elemento de fundação, geralmente em betão armado, que transmite ao solo as cargas provenientes de pilares ou muros de suporte.

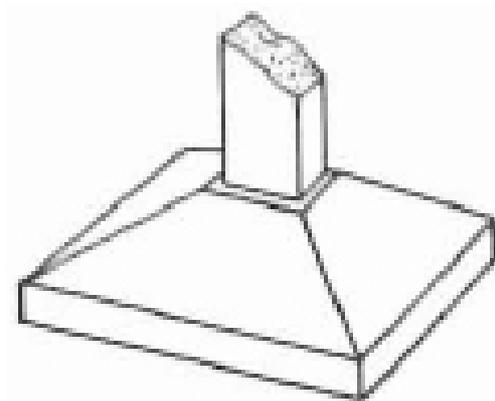


Figura 23: Exemplo de sapata de fundação  
(<https://cdn.escolaengenharia.com.br/wp-content/uploads/2013/08/sapata-isolada-fundacoes.jpg>)

A viga (figura 24) consiste num elemento geralmente horizontal, solicitado a esforços de flexão, e que permite a execução de vãos entre pilares, suportando as lajes.

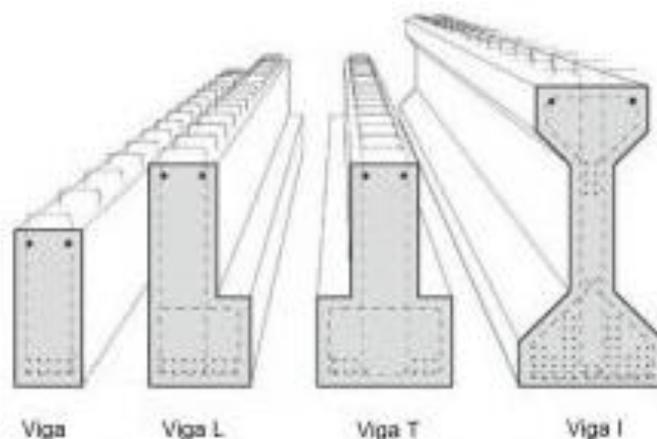


Figura 24: Exemplo de vigas com diferentes secções  
([http://www.sepsancho.com/galeria-virtual/images/thumbnails/1043/644/detailed/2/Vigas\\_em\\_Bet%C3%A3o.jpg?t=1470839239](http://www.sepsancho.com/galeria-virtual/images/thumbnails/1043/644/detailed/2/Vigas_em_Bet%C3%A3o.jpg?t=1470839239))

O pilar (figura 25), elemento vertical que define o pé direito e estabelece o apoio a vigas, é solicitado maioritariamente a esforços de compressão simples ou esforços de compressão combinados com esforços de flexão.



Figura 25: Pilares em betão armado

*(<https://www.concretousinado.com.br/api/public/images/86-b801d3eb5abf4e9eb5e463a7dea6ceaf.png>)*

A laje (figura 26) é um elemento geralmente horizontal, predominantemente solicitada à flexão, que serve de base aos vários pisos dos edifícios.



Figura 26: Lajes de piso e cobertura em betão armado

*(<http://www.edvieira.pt/wp-content/uploads/2015/02/estrutura-beta%CC%83o-4.jpg>)*

Todos estes elementos, quando interligados entre si, criam uma estrutura reticulada, em que as cargas atuantes e carregamentos devido a peso próprio nas lajes são conduzidas para as vigas. As ações resultantes são transferidas para os pilares, como cargas pontuais, e conduzidas para as sapatas, que asseguram a distribuição de esforços para o solo (Saraiva, 2013).

A parte não estrutural ou de preenchimento é constituída por paredes de panos de alvenaria, do tipo

simples ou duplo.

As paredes de alvenaria de pano duplo (figura 27), quando combinadas com a colocação de isolamento térmico pelo exterior, apresentam um bom comportamento térmico e uma eficiente eliminação de pontes térmicas. As paredes interiores de compartimentação são normalmente em pano simples de alvenaria de tijolo (figura 28).



Figura 27: Parede de alvenaria dupla com isolamento  
(<https://www.engenhariacivil.com/imagens/paredes-duplas-isolamento-termico.jpg>)



Figura 28: Parede de alvenaria simples  
(<https://isoldb.com/wp-content/uploads/2018/06/banda-dessolidarizante-img3.jpg>)

#### 2.2.4. Tipologia estrutural

##### Estruturas reticuladas

As estruturas reticuladas são definidas por peças lineares em que a transmissão dos esforços acontece através de elementos isolados, como pórticos, lajes, pilares ou vigas.

As estruturas reticuladas podem ser classificadas como estruturas planas, espaciais (figura 29), ou estruturas tridimensionais (figura 30). Para além disso podem ser também classificadas de acordo com o conjunto de esforços que caracterizam o seu comportamento, o qual decorre das ações a que estão sujeitas, e da maneira como os elementos estruturais se ligam entre si à fundação (J. A. T. de Freitas & Tiago, 2014). No âmbito dos modelos planos podemos ter o modelo de estrutura articulada, ou treliça, que é o modelo mais simples, o modelo de viga contínua, o modelo de grelha e o modelo de estrutura porticada plana. Relativamente a estruturas tridimensionais temos o modelo de estrutura porticada tridimensional.

No modelo de estrutura articulada admite-se que as peças lineares estão apenas sujeitas a esforço axial. Assim, a estrutura está sujeita apenas a forças aplicadas nos nós e todas as barras se encontram interligadas e ligadas à fundação por meio de rótulas globais.

No modelo de viga contínua, aplicado a vigas com dois ou mais tramos que funcionam maioritariamente à flexão, admite-se que a peça é reta e que as ações envolvem apenas momentos no plano da viga e forças transversais ao eixo, para garantir que o esforço axial em todos os outros elementos seja nulo.

O modelo de grelha aplica-se a estruturas planas atuadas por momentos em torno dos eixos existentes ao plano e por forças perpendiculares a esse plano. Os elementos que constituem o modelo funcionam à torção e à flexão e corte, no sentido das cargas aplicadas. Uma vez que são nulos os momentos segundo eixos ortogonais e nulas as forças aplicadas no plano da estrutura, as ações de corte, flexão e esforço axial são também nulos.

O modelo de estrutura porticada plana aplica-se a estruturas reticuladas planas sujeitas a um sistema de forças complementar ao descrito para o modelo de grelha. Então, os elementos estruturais funcionam ao esforço axial e, no plano da estrutura, à flexão e ao corte. Considerando-se nulos os momentos segundo os eixos existentes e as forças ortogonais ao plano, flexão e corte serão também nulos.

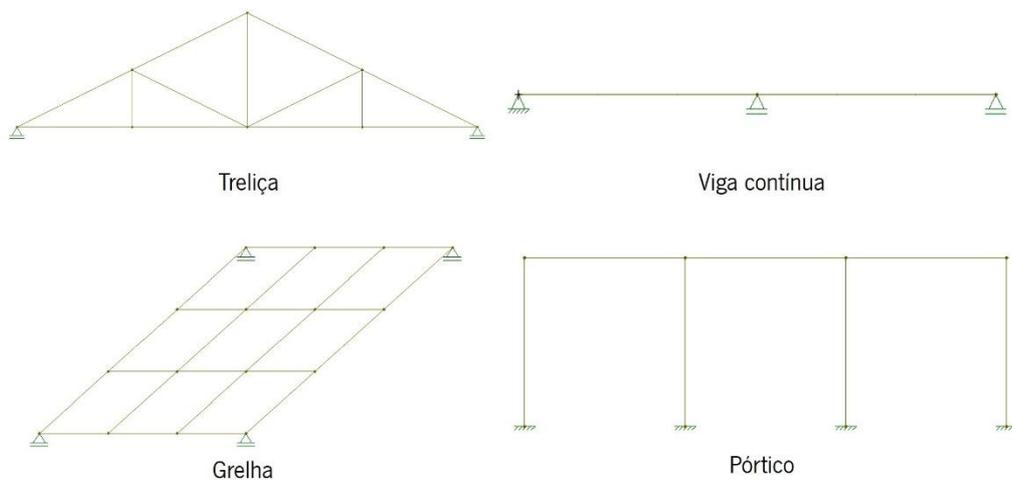


Figura 29: Estruturas reticuladas planas

Por fim, o modelo mais geral, o da estrutura porticada tridimensional, aplica-se quando os elementos estruturais estão sujeitos ao esforço axial e torção e às ações de flexão e corte em dois planos. Isto acontece em estruturas que existam num plano, mas em que a ação, a interligação entre os diversos elementos estruturais e a ligação dos mesmos à fundação induzam um comportamento tridimensional.

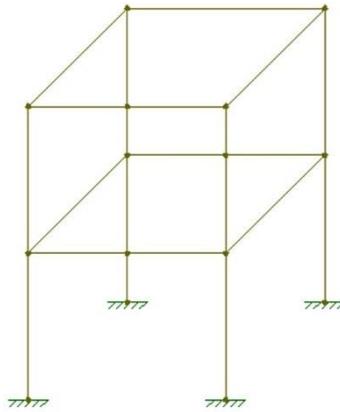


Figura 30: Estrutura reticulada tridimensional

### **Estruturas com paredes em alvenaria**

As estruturas de paredes em alvenaria podem ser divididas em paredes não resistentes ou paredes resistentes.

As paredes não resistentes são usualmente paredes simples com função de enchimento de estruturas metálicas ou de betão armado, ou com função de paredes divisórias. Nestas paredes devem ser assegurados limites geométricos de esbelteza para a garantia de suporte do peso próprio (Gouveia et al., 2006).

As paredes resistentes podem ser definidas como um componente estrutural contínuo vertical, retilíneo ou curvilíneo, constituído pela solidarização de um conjunto de elementos resistentes, por meio de um ligante, e que podem integrar elementos de reforço de outra natureza (Gouveia et al., 2006), como varões metálicos. Estas podem ainda ser classificadas de acordo com a função estrutural que cumprem, ou seja, podem ser paredes armadas, não armadas, de contenção ou confinadas (figura 31).

As paredes armadas são geralmente designadas por parede mestra e têm como função resistir a esforços horizontais e verticais. Na sua constituição podem possuir armaduras horizontais, armaduras verticais ou um sistema de armaduras misto.

As paredes não armadas servem normalmente como elemento de contraventamento às paredes principais, podendo ser dimensionadas para resistir a ações horizontais no seu próprio plano (Gouveia et al., 2006). Para se garantir a ligação entre as lajes e as paredes são executadas cintas armadas no topo de cada painel de parede.

As paredes de contenção devem suportar ações verticais provenientes de lajes superiores ou do peso de paredes e devem resistir à flexão.

Finalmente, as paredes confinadas são concebidas com a junção das funções de resistência de elementos armados de confinamento e de panos de alvenaria. Os elementos de confinamento são por

norma executados em concomitância com a alvenaria, podendo ficar com as suas faces expostas ou embutidos na alvenaria. A disposição das armaduras de confinamento difere da disposição das armaduras das paredes armadas pois são colocadas através de alinhamentos espaçados e, por isso, não apresentam uma distribuição homogênea.

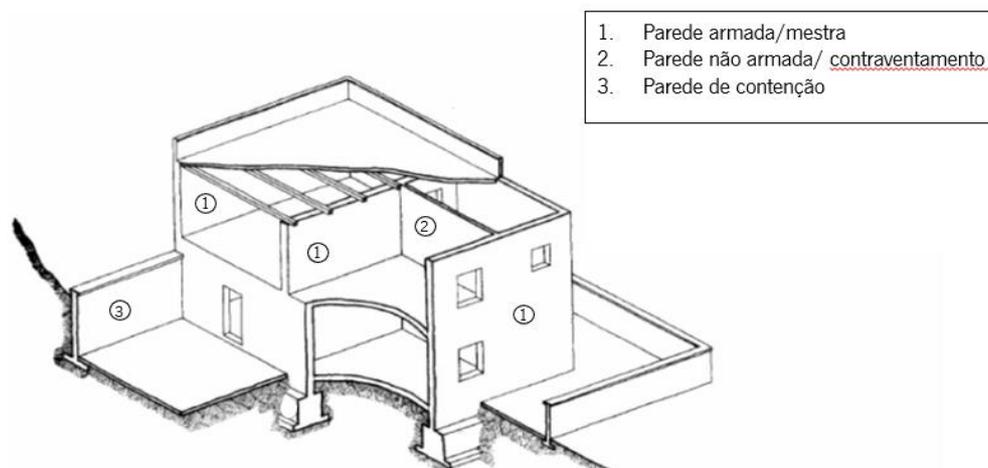


Figura 31: Diferentes tipos de paredes estruturais  
(Retirado de (Gouveia et al., 2006))

### 2.2.5. Processo construtivo

#### Estruturas reticuladas

Uma solução global deve ser encarada não como o desenvolvimento de um produto de excelentes características, mas sim como um sistema de produção, de construção e de qualidade capaz de garantir os requisitos de conforto habitacional, de verificação de exigências construtivas (Gouveia et al., 2006) mas, ao mesmo tempo, uma mão-de-obra mais barata e baixos custos de manutenção.

As estruturas em betão armado podem assim ser uma boa solução e a execução destas deve cumprir todos os requisitos e condicionalismos para que sejam garantidas a segurança e o comportamento estrutural.

A primeira fase para a construção é a desmatação, limpeza e nivelamento da área de implantação (Saraiva, 2013). De seguida seguem-se as escavações e abertura das fundações (figura 32), com a colocação do betão de limpeza, das armaduras e finalmente o processo de betonagem (figura 33). Se se tratar de uma fundação direta realiza-se uma abertura de caboucos, a betonagem das sapatas e vigas de fundação e a execução do arranque do pilar. Caso se trate de uma fundação indireta perfura-se o terreno para a inserção de estacas e executam-se os maciços de encabeçamento e vigas de fundação,

ou realiza-se escavação para a execução de poços de fundação.



Figura 32: Trabalhos de escavação para abertura das fundações

*([https://www.cascais.pt/sites/default/files/styles/galeria-new/public/imagens/galerias/new/imagem\\_2.jpg?tok=vL-s2UNg](https://www.cascais.pt/sites/default/files/styles/galeria-new/public/imagens/galerias/new/imagem_2.jpg?tok=vL-s2UNg))*



Figura 33: Execução das sapatas de fundação

*(<https://cdn.escolaengenharia.com.br/wp-content/uploads/2016/07/sapatas-isoladas.jpg>)*

Uma vez terminadas as sapatas, inicia-se a “elevação” da estrutura, ou seja, a segunda fase construtiva consiste na execução dos pilares (figura 34).

As armaduras dos mesmos consistem no corte de varões longitudinais e na execução de cintas, que são depois atados aos varões com um espaçamento definido de acordo com as normativas vigentes. Estas são montadas no arranque da sapata de forma que se garanta a sua verticalidade e colocados espaçadores para garantir o recobrimento (figura 35). Após a armadura estar corretamente colocada é necessário montar os painéis de cofragem com o auxílio de acessórios de ligação, aplicá-los onde se pretende realizar a operação de betonagem e colocar os escoramentos e plataformas necessários. Após a betonagem dos elementos, e do betão atingir a resistência necessária, segue-se a descofragem, onde se retiram dos elementos de ligação dos painéis, os elementos de estabilização, como as escoras, e finalmente as cofragens.



Figura 34: Execução dos pilares  
(<https://2.bp.blogspot.com/-eldGDIr4CQw/W3CFgdrPYrI/AAAAAAAAALsU/ZubYpveyN34LufW5o8dMgrbRtdZFWHrpgCLcBGAs/s1600/diario-de-obra-511x343.jpg>)



Figura 35: Pormenor da armadura dos pilares  
([https://4.bp.blogspot.com/-Sl2xjgymO90/WM6C7I-P6BI/AAAAAAAAAB3s/VTNdnCbBctkP1dzMR76pYCU\\_s7fbs\\_iTywCK4B/s400/100\\_1228.JPG](https://4.bp.blogspot.com/-Sl2xjgymO90/WM6C7I-P6BI/AAAAAAAAAB3s/VTNdnCbBctkP1dzMR76pYCU_s7fbs_iTywCK4B/s400/100_1228.JPG))

O processo construtivo de uma viga engloba tarefas como cofragem, colocação de armadura, betonagem e descofragem.

No processo de cofragem é necessário garantir um solo regular para a montagem das escoras, de seguida são montadas as vigas longitudinais, colocadas as vigas de escoramento transversais e os painéis inferiores e laterais, com o respetivo escoramento (figura 36).

As armaduras existentes neste elemento estrutural consistem em varões de aço longitudinais com estribos com um espaçamento definido (figura 37). A armadura deve depois ser montada com espaçadores e ligada a outros elementos estruturais.

O processo de betonagem é idêntico aos dos outros elementos e por isso devem ser cumpridos todos os requisitos para que o resultado seja um betão uniforme.

Por fim, e 3 dias após a betonagem, ocorre o processo de descofragem, retirando-se as vigas de montagem, escoras e painéis. No entanto, deve ser mantida 1 viga de escoramento por metro linear até aos 21 a 28 dias.



Figura 36: Cofragem de viga  
(<https://orcamentos.eu/wp-content/uploads/2012/11/Fichas-de-rendimento-de-cofragem-em-vigas.jpg>)



Figura 37: Pormenor de armadura de viga  
(<https://www.guiadaengenharia.com/wp-content/uploads/2019/09/detalhamento-secao-capa.jpg>)

No processo construtivo de uma laje é de grande importância o modo de colocação das cofragens pois é necessário que fiquem estáveis e fechadas de modo a garantir o espalhamento e a boa vibração do betão. Assim, para a montagem da cofragem é necessária uma regularização inicial do piso onde se irão assentar e colocar as escoras (figura 38). São depois lançadas as vigas longitudinais e, após o reposicionamento do conjunto vigas-escoras, colocam-se as vigas transversais. Na estrutura vigada resultante colocam-se as tábuas e os taipais laterais.

Para a execução das armaduras, o primeiro passo é a colocação de espaçadores e da armadura inferior. De seguida atam-se os varões com arame, colocam-se cavaletes para apoio da armadura superior e finalmente coloca-se a armadura superior.

O processo de betonagem consiste em betonar em camadas horizontais de modo a evitar amontoamentos, vibrar o betão e controlar a espessura da laje usando uma bitola de varão de aço. Por fim é necessário regular e alisar a superfície (figura 39).

Chegado o momento de descofragem deve-se retirar 70% do material de cofragem após 3 dias de betonagem e manter uma viga de escoramento a cada 2 metros até as 21 a 28 dias, alinhando-se as escoras dos diferentes pisos.



Figura 38: Cofragem de uma laje  
(<https://www.doka.com/revolution/webapp/cache/assets/1d8e9be7ddee8bbaa40d29401164d421/Dokadek-30-Xlife-Platte-1600x800-.jpg>)



Figura 39: Processo de betonagem e pormenor de armadura de uma laje  
(<https://www.engenhariacivil.com/imagens/betonagem-de-laje.jpg>)

### **Estruturas em alvenaria estrutural**

Um sistema construtivo em alvenaria é constituído por um conjunto de elementos que procuram fornecer uma solução geral de edificação recorrendo pontualmente à execução de elementos resistentes em betão armado (Gouveia et al., 2006), no entanto não seria necessário recorrer a sistemas de cofragem ou despende imensa mão-de-obra. Assim, uma solução em alvenaria estrutural pode ser exequível se forem tidas em conta as condicionantes e processos de execução e a forma de execução de cada elemento.

Na conceção de sistemas em alvenaria devem ser evitadas formas complexas e plantas irregulares, ou seja, a arquitetura deve ser definida por um conjunto de corpos modulares (Gouveia et al., 2006) e estruturas pouco assimétricas quer em altura quer em planta.

O processo construtivo em alvenaria estrutural divide-se então em diversas fases.

Inicialmente procede-se à desmatação, limpeza e nivelamento da área de implantação (Saraiva, 2013). Seguidamente são colocadas estacas e marcados pontos para definição de alinhamento de fundações, esquadria e colocação de elementos verticais de confinamento e são feitas as escavações para a abertura das fundações, com colocação do respetivo betão de limpeza, são colocadas as armaduras e é realizada a betonagem. Com recurso à marcação feita anteriormente inicia-se o assentamento dos blocos, devendo a primeira fiada seguir uma disposição par e a segunda uma disposição ímpar (figura 40). Terminado

este passo aplicam-se as armaduras de fiada, ficando embebidas na argamassa. Esta armadura deve ser aplicada a cada duas ou três fiadas, conforme designado nos projetos estruturais.

Os blocos são assentados até ao nível de 20 centímetros antes da laje superior (Saraiva, 2013). De seguida são aplicadas as armaduras da viga de cinta, as vigas pré-fabricadas e abobadilhas para depois se aplicarem as armaduras de reforço e distribuição e ser possível a betonagem da laje.

Para a execução destas estruturas devem ser apresentados vários desenhos, como plantas, com a definição de fiadas de assentamento de blocos (Gouveia et al., 2006), detalhes de blocos especiais e respetiva forma de colocação, detalhes de armaduras e plantas com os negativos necessários para as instalações especiais.



Figura 40: Assentamento de alvenaria estrutural  
(<http://www.iporablocos.com.br/imagens/informacoes/bloco-alvenaria-estrutural-concreto-01.jpg>)

## **2.3. Construção modular**

### **2.3.1. Princípios e fundamentos**

#### **Conceito**

O conceito de construção modular aparece muitas vezes relacionado com o da construção pré-fabricada, e apesar de certos autores considerarem que não existe distinção entre ambos os conceitos, estes apresentam características e propósitos diferentes.

A construção modular caracteriza-se pela normalização dimensional, repetição e uniformização de processos e materiais, com vista à melhoria e eficiência produtiva. Este princípio pode ser aplicado quer na construção tradicional, quer na construção modular. A pré-fabricação surge associada a esta última, já que o que a distingue não é a normalização de processos ou o seu nível de organização, mas sim a

ferramenta com que é realizada e a mecanização da produção (Fernandes, 2009).

Comparativamente com a construção tradicional, a construção pré-fabricada apresenta vantagens como:

- Maior coerência e correspondência entre o projeto e o produto final: os pormenores construtivos irão coincidir melhor com os elementos reais a aplicar a forma de aplicação em obra dos elementos pré-fabricados é mais específica (T. Lopes & Amado, 2012);
- Maior controlo da qualidade: a execução das unidades pré-fabricadas é realizada em espaços especializados para o efeito e por isso são realizados testes de controlo da qualidade durante todo o ciclo de produção;
- Maior rigor: o projeto apresenta menos erros e incongruências antes do início da produção devido a maior interação entre projetistas e outros intervenientes (T. Lopes & Amado, 2012);
- Rapidez: a execução dos elementos não depende das condições climatéricas e, como se trata de um sistema de construção sistematizado, é possível a minimização dos tempos de execução;
- É um método “amigo do ambiente”: é menor o desperdício de material utilizado na construção dos elementos e edificações pré-fabricados e maior o reaproveitamento de certos materiais como cofragens;
- Não exige a necessidade de estaleiro ou andaimes: as peças pré-fabricadas são armazenadas em fábricas e posteriormente transportadas para o local da obra, cuja elevação é realizada com gruas.

No entanto, a construção pré-fabricada apresenta desvantagens como:

- Necessidade de bom planeamento e projeto bem detalhado: necessário um projeto rico em detalhes para evitar erros e incongruências;
- Limitação geográfica e de acesso: caso se tratem de locais de obra remotos os custos de transporte dos elementos acabam por ser bastante elevados;
- Opções de design pré-definidos: o cliente deve escolher o projeto de construção que consta no catálogo da empresa, podendo realizar apenas pequenos ajustes.

Apesar das suas vantagens, a preferência pela construção tradicional é ainda predominante, no entanto é um método que se apresenta bastante competitivo e que pode muito bem ser bastante utilizado num futuro próximo.

A pré-fabricação pode ser empregue nas mais variadas obras, desde edifícios até viadutos e pontes. Em cada uma das áreas, o conceito e o faseamento construtivo devem ser pensados e planeados de forma diferente, tendo em conta as particularidades de cada obra (Costa, 2013).

## Contexto Histórico

Os conceitos de construção pré-fabricada ou de construção modular dão a ideia de se tratarem de conceitos recentes, no entanto ambos já se encontravam bem presentes nas antigas civilizações.

Certos autores apontam que os primeiros indícios de aplicação do conceito de modular remontam à civilização egípcia, mais especificamente às dimensões dos blocos aplicados na construção das pirâmides do Egito.

Na civilização grega era notória a aplicação da modularização nas colunas dos templos, existindo uma certa uniformização quanto ao afastamento entre as mesmas e à sua arquitetura e dimensões (figura 41). Desta maneira conseguiam atingir a beleza e harmonia, características estas essenciais da arquitetura grega.



Figura 41: Templo grego

(<https://imagens-revista-pro.vivadecora.com.br/uploads/2018/06/arquitetura-grega-parthenon-grecia.jpg>)

Já na época dos romanos o conceito de modularização foi aplicado na organização da cidade, ou seja, as cidades eram organizadas e planificadas, apresentando uma malha própria e construções regulares (figura 42). A título exemplificativo, as dimensões dos edifícios tinham como medida base o *passus* romano, medida múltipla do pé, e o planejamento das cidades era realizado com recurso a um quadriculado.



Figura 42: Organização da cidade de Timgad, construída durante o império romano  
(<http://socks-studio.com/img/blog/timgad-01.jpg>)

No entanto, foi na revolução industrial (1820 - 1840) que se potencializou a utilização da construção pré-fabricada. Definido como um período marcado pela industrialização, pelo desenvolvimento de novos equipamentos e pelo aparecimento de novos materiais (Oliveira, 2018), como aço ou vidro, surge a padronização e sistematização de sistemas construtivos. O desenvolvimento industrial permitiu a produção em série de elementos pré-fabricados, de forma padronizada, mais rápida e eficiente, abrindo portas a uma mudança nos antigos sistemas construtivos.

Foi então em 1850 que se deu a primeira grande aplicação da construção modular, o Palácio de Cristal (figura 43 e figura 44). Projetado por Joseph Paxton, arquiteto inglês, e construído entre 1850 e 1851 para a Exposição Universal de Londres, o Palácio de Cristal consistia numa estrutura em elementos pré-fabricados de vidro e ferro fundido, com uma área coberta de cerca de 90.000 m<sup>2</sup>. Devido à facilidade de montagem e fácil manuseamento dos materiais a estrutura ficou completa em apenas 9 meses e conseguiu conjugar uma diversidade de elementos coordenados entre si, através de uma rede modular, com a padronização e industrialização a dos mesmos a ter um papel preponderante sobre os limites económicos e de tempo de construção (Patinha, 2011). Após o fecho da exposição a estrutura foi desmontada e posteriormente remontada noutra local.



Figura 43: Palácio de Cristal, por Joseph Paxton (1851)  
(<http://www.paul-mellon-centre.ac.uk/media/w1060h800/events/crystal-palace.jpg>)

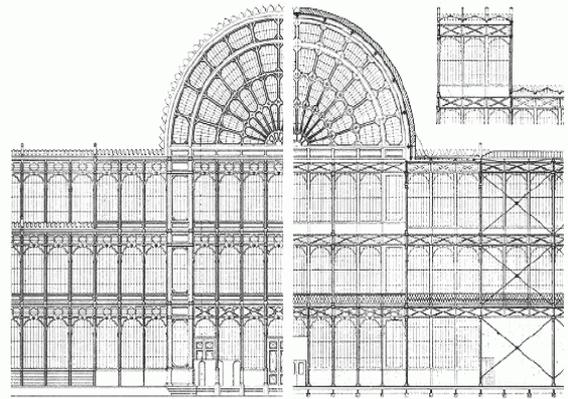


Figura 44: Sistema estrutural do Palácio de Cristal  
(<https://www.estudegratis.com.br/images/questoes/53273257382b7d12704.gif>)

Esta construção tornou-se num impulsionador da construção pré-fabricada, levando à construção de, por exemplo, habitações, estações de comboio e hospitais. No entanto, esta terá acabado por ver a sua utilização em declínio.

Com a destruição maciça de cidades, a concentração industrial nas grandes cidades e a grande explosão demográfica causadas pela Segunda Guerra Mundial houve necessidade urgente de se construir em grande escala, mas de forma rápida e económica. Assim, e com o avançar da industrialização, foram surgindo vários projetos que reavivaram os conceitos de construção modular (F. M. C. Freitas, 2014) e construção pré-fabricada.

O arquiteto suíço, naturalizado francês, Le Corbusier procurou defender a utilização da construção pré-fabricada e a sua produção em série. Criou então, em 1915, o sistema “Dom-ino” (figura 45). Tratava-se de um sistema estrutural completamente independente da arquitetura interna, ou seja, não existia uma dependência entre o sistema estrutural, composto apenas pelas lajes e escadas, e as fachadas e divisão interna. O princípio de construção baseava-se essencialmente no fabrico de elementos normalizados, que se combinariam entre si, permitindo uma grande diversidade de soluções na disposição funcional das casas e na agregação do seu conjunto (Magalhães, 2013).

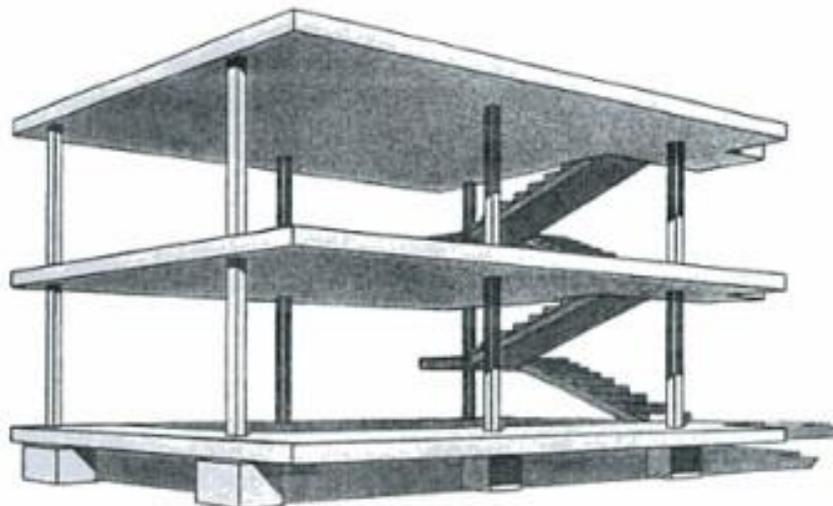


Figura 45: Sistema "Dom-Iso", por Le Corbusier  
([https://pmiltonarquitectura.files.wordpress.com/2012/07/bio\\_le-corbusier\\_17.jpg?w=346&h=230](https://pmiltonarquitectura.files.wordpress.com/2012/07/bio_le-corbusier_17.jpg?w=346&h=230))

Uma vez que a construção pré-fabricada se trata de padronização e uniformização de componentes e módulos diversas, entidades norte-americanas e europeias decidiram estudar e desenvolver normas para a normalização da construção (Patinha, 2011).

### **Tipo de pré-fabricação**

Conforme as dimensões e peso dos elementos, a pré-fabricação pode dividir-se em leve e pesada.

A pré-fabricação leve consiste na utilização de elementos não estruturais e de pequeno peso, tais como materiais para fachadas, tetos falsos e paredes divisórias, entre outros, e são usualmente montados no local da obra com equipamento rudimentar.

A pré-fabricação pesada está relacionada com a aplicação de elementos estruturais, comumente em betão armado e pré-esforçado. Deste fazem parte pilares, vigas, lajes ou escadas e é neste setor que a pré-fabricação atinge a sua expressão mais ampla, contemplando realizações industriais de maior complexidade técnica (Machado, 2015).

### **Grau de pré-fabricação**

Outro aspeto importante relativo aos elementos pré-fabricados é o seu grau de pré-fabricação (figura 46). Assim, o grau de pré-fabricação refere-se ao tamanho e complexidade dos componentes pré-fabricados ou à configuração do produto final (Boafo et al., 2016). O tamanho dos componentes está diretamente relacionado com o grau de construção e mão de obra no local, ou seja, quanto maior o tamanho do componente menor será o grau de mão de obra e construção.

Fatores como “construtibilidade”, qualidade e segurança, eficiência, facilidade de construção e custo têm grande influência na utilização adequada do grau de pré-fabricação num dado projeto.

Os graus existentes são os seguintes: componentes, painéis, estruturas híbridas e estruturas modulares volumétricas.

Os componentes são elementos únicos como elementos de betão pré-fabricado ou madeira, escadas ou treliças de telhado. Estes permitem um maior grau de flexibilidade e personalização, no entanto tornam-se mais trabalhosos por existirem em maior quantidade. Por se tratarem de elementos isolados requerem mais cuidado com as ligações e juntas.

Os painéis são elementos 2D, planos, utilizados na construção de paredes estruturais, telhados ou pavimentos. A utilização de painéis é um método de construção eficiente e rápido. Como exemplos temos a utilização de painéis em betão ou painéis SIP (*structural insulated pannels*).

As estruturas híbridas consistem, geralmente, na combinação de sistemas de pré-fabricação volumétrica e sistemas de construção com painéis para obtenção do produto final.

Finalmente, os módulos volumétricos são estruturas 3D, com várias secções, em que a maioria dos acabamentos interiores e exteriores são executados em fábrica, podendo ficar até 80% a 95% completos na unidade fabril e apresentam o maior grau de pré-fabricação. Como são construídos em fábrica, e sob ambiente controlado, o fabricante assume a velocidade e o controlo do produto final.

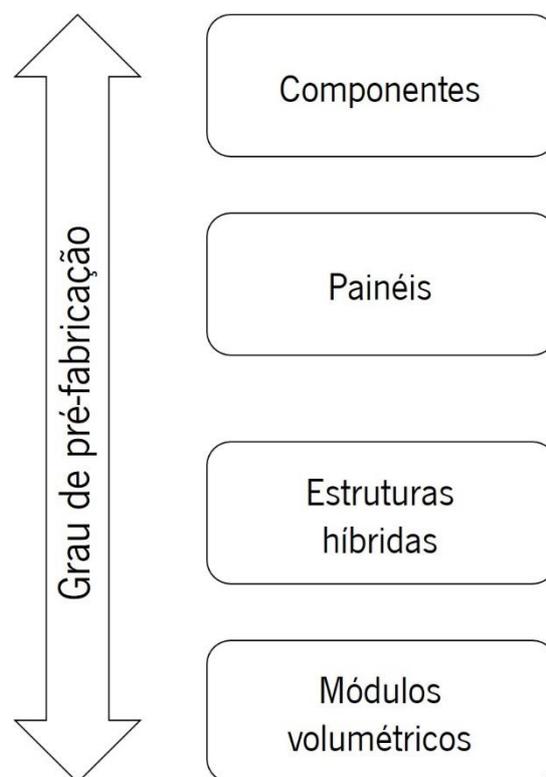


Figura 46: Grau de pré-fabricação

## **Fases de construção**

A construção pré-fabricada consiste na execução dos componentes, parcial ou totalmente, em unidades fabris com recurso a processos de construção sistematizados e eventualmente com algum grau de automatização. As etapas de execução são as seguintes: planeamento, fabrico dos elementos, transporte e montagem.

A primeira etapa, a do planeamento, é a das mais importantes do processo uma vez que é nesta etapa que, de acordo com o projeto, se analisa e avalia qual o melhor sistema construtivo, a dimensão dos componentes e respetivo grau de pré-fabricação para que se consiga a melhor rentabilização do projeto e a garantia de baixos custos.

Após a análise detalhada do projeto entre entidades como arquiteto, engenheiro e fabricante, vem a fabricação dos componentes. A execução dos mesmos é realizada em fábrica, sob ambientes controlados e protegida das ações meteorológicas, atingindo-se maior qualidade e rigor do produto e uma diminuição de custos de obra e tempo de produção.

O processo de transporte é um dos fatores com mais peso na fase de planeamento. Deste estão dependentes as dimensões e pesos dos elementos pré-fabricados, tais como vigas ou pilares, bem como os percursos que serão possíveis realizar aquando do transporte das peças.

Finalmente, a montagem, que consiste na ligação dos todos os elementos pré-fabricados entre si para formação de uma estrutura completa ou simplesmente na ligação dos módulos já executados em fábrica às fundações.

## **Representação em grelha**

Uma das características da construção modular é a uniformização dos elementos e componentes estruturais e tal pode ser conseguido através da utilização de grelhas. Estas consistem num sistema de organização geométrico, geralmente baseado em organizações quadradas ou retangulares e que permitem a criação de painéis planos e componentes retos. As grelhas organizacionais podem ser axiais ou modulares.

As grelhas axiais (figura 47), utilizadas usualmente em sistemas estruturais, usam um eixo central de um elemento de construção que está de acordo com a grelha de referência. Apesar de vantajoso em termos de design pode apresentar problemas de compatibilização, como determinados materiais e elementos combinam na estrutura. Se, por exemplo, cada elemento estrutural tiver diferente dimensão a grelha perde a capacidade de ser modulada através de um painel standard ou elementos de preenchimento ligados à estrutura através de ligação standard (Smith, 2010).

As grelhas modulares (figura 48), onde são desenvolvidos os painéis e módulos, baseiam-se na atual

dimensão e localização dos elementos de construção. Assim, tem em consideração a tridimensionalidade dos elementos, como a sua espessura, largura e altura.

Qualquer sistema de construção, seja estrutura, serviços ou acabamentos, deve ter a sua própria grelha, o que requer uma coordenação escrupulosa entre os diferentes sistemas de construção e os elementos que os suportam (Smith, 2010).

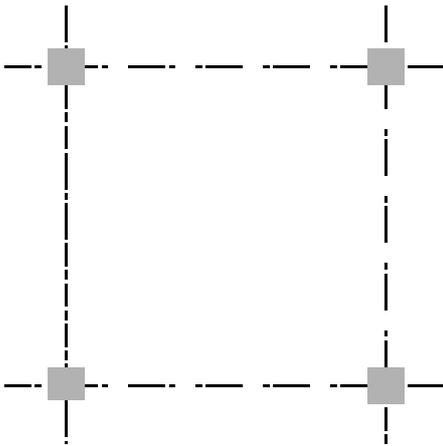


Figura 47: Grelha axial  
(Retirado de (Smith, 2010))

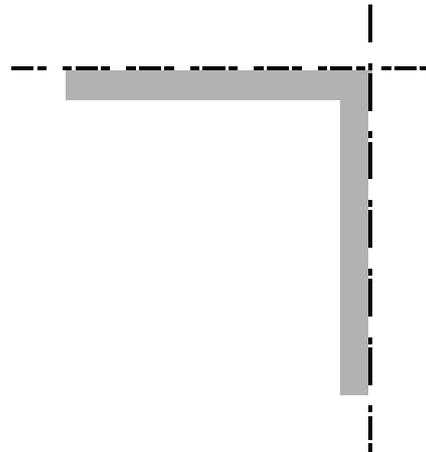


Figura 48: Grelha modular  
(Retirado de (Smith, 2010))

### 2.3.2. Materiais

#### Madeira

A madeira é certamente o material de construção mais antigo, no entanto tem visto a sua utilização aumentar ao longo dos anos, principalmente na construção pré-fabricada.

As árvores podem ser de duas categorias, árvores de folha caduca que, quando cortadas, transformam-se em madeira dura e as árvores de folha perene que, quando moídas, dão origem a madeiras macias. As madeiras macias, como são acessíveis e económicas, podem ser utilizadas em armações ou “frames” (figura 49) e as madeiras duras têm a sua aplicação em carpintaria, caixilharia de janelas, pavimentos e acabamentos (figura 50).

Devido ao conhecimento das qualidades que este material apresenta a madeira tornou-se no terceiro material mais utilizado na construção, apenas ultrapassado pelo aço e betão. É, portanto, um material biodegradável, com elevada resistência, com baixo peso, com alta capacidade de manutenção e reciclável. É também facilmente trabalhável, oferecendo uma variedade de formas e liberdade de design. O campo de aplicação da madeira consegue ser bastante vasto, indo dos sistemas de armação (“frames”) estrutural até aos painéis de fachada.



Figura 49: Utilização da madeira para frames  
(<https://imagens-revista-pro.vivadecora.com.br/uploads/2019/08/Wood-Frame-infraestrutura-de-madeira-pronta-para-receber-o-OSB.jpg>)



Figura 50: Utilização da madeira como acabamento  
(<https://i.pinimg.com/564x/3e/64/8e/3e648e4dd1047745c298c9958444555d.jpg>)

Além da utilização de madeira maciça, é cada vez mais notável a utilização de madeira transformada industrialmente permitindo que numerosos materiais de construção sejam feitos a partir de fibras e aparas de madeira (Staub et al., 2008), conjuntamente com colas e epóxis. Estes produtos derivados pretendem corrigir ou completar as limitações naturais da madeira, bem como adaptá-la a usos mais específicos e exigentes (Oliveira, 2018), designando-se por materiais compósitos. Como exemplos temos os painéis de madeira lamelada colada cruzada (CLT), contraplacado, placas OSB ou placas microlameladas cruzadas (LVL). O processo de fabrico e respetivas características destes materiais encontram-se explanados no capítulo 2.3.4, na sub-secção “Painéis”.

As madeiras compósitas são fáceis de trabalhar e ostentam elevada resistência e qualidade. Na sua forma planar, estes elementos podem ser utilizados para elaboração de telhados, lajes e paredes (figura 51 e figura 52), as quais podem mesmo incluir camadas adicionais de material impermeabilizante ou isolamento. Pode ainda ser aplicada na execução de módulos inteiros, quer de âmbito residencial quer comercial. Como se tratam de elementos pré-fabricados são fabricados totalmente em unidades fabris e podem ser rapidamente montados no local.



Figura 51: Estrutura concebida em LVL  
([https://www.architectureanddesign.com.au/getmedia/14be72a5-dc07-4e4f-ba96-9a3492011ca5/140602\\_Metropol2.aspx](https://www.architectureanddesign.com.au/getmedia/14be72a5-dc07-4e4f-ba96-9a3492011ca5/140602_Metropol2.aspx))



Figura 52: Estrutura concebida em CLT  
([https://projects.cot.com/wp-content/uploads/2017/05/Credit-Jack-Hobhouse-150615\\_HB\\_Wenlock\\_014.jpg](https://projects.cot.com/wp-content/uploads/2017/05/Credit-Jack-Hobhouse-150615_HB_Wenlock_014.jpg))

## Aço

As matérias primas essenciais para o fabrico do aço são o carvão e o minério de ferro.

Raramente o ferro existe no seu estado elementar, no entanto, no estado de óxido, o minério de ferro é tratado por um processo de fusão e redução para a obtenção do ferro. A este há necessidade de acrescentar minério de manganês ao processo de aciaria para que seja assegurada a dureza necessária dos aços.

O carvão utilizado é denominado por coque metalúrgico ou, mais comum, carvão vegetal. Este desempenha, primeiramente, a função de libertação do carbono, com o qual o oxigénio dos minérios se liga e, em segundo, promove a alta temperatura exigida pelo processo (Ferreira, 2006), em simultâneo com a combustão.

Para obtenção do ferro gusa, material que dará origem ao aço, os minérios de ferro devem ser submetidos a um processo de sinterização, que consiste na aglutinação dos minérios de ferro de granulometria fina, e depois cozidos no alto-forno. Da cozedura no alto-forno e do processo de carbonatação do ferro resulta o ferro gusa e designa-se a ser transformado, no estado líquido, em ferro fundido ou aço. O ferro proveniente do alto-forno sofre depois um processo de afinção, na aciaria, para redução de impurezas.

Os aços podem ser obtidos através de processos químicos e são depois sujeitos a tratamentos para reduzir ou eliminar tensões internas causadas pelo arrefecimento desigual e para melhorar certas propriedades como a resistência à tração e corrosão, a ductilidade e a resistência ao calor.

Usualmente são realizados tratamentos mecânicos para melhorar as propriedades mecânicas e as

técnicas mais comuns são a laminagem, a trefilagem e a estiragem.

No tratamento por laminagem é possível obter chapas de variada espessura, com seções transversais uniformes e grandes comprimentos. A laminagem do aço pode ser a quente ou a frio.

A realização da laminagem enquanto o metal está quente (figura 54) permite maiores reduções de espessura enquanto a laminagem a frio (figura 53) é realizada nos produtos laminados a quente e quando se pretendem características mecânicas específicas, bom acabamento de superfície e espessuras muito finas.

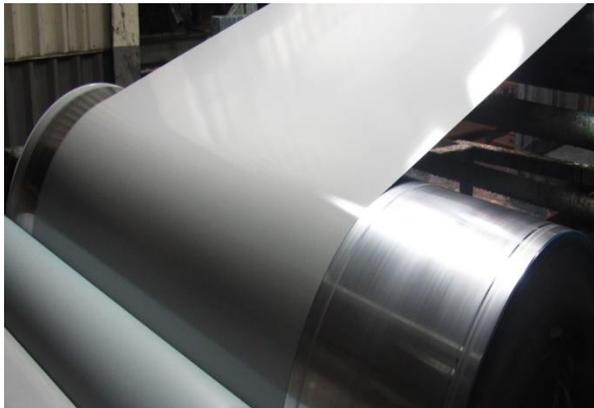


Figura 53: Aço laminado a frio  
[https://www.procoat-tech.com/wp-content/uploads/2013/02/acero\\_laminado\\_2.png](https://www.procoat-tech.com/wp-content/uploads/2013/02/acero_laminado_2.png)



Figura 54: Aço laminado a quente  
<https://www.acoplano.com.br/blog/wp-content/uploads/2019/11/diferenca-das-chapas-laminadas-a-frio-e-as-chapas-laminadas-quente-acoplano.jpg>

A trefilagem é um processo de modelação dos metais. O varão ou barra são conduzidos por uma matriz cônica que, por meio de uma força de tração axial, moldam o aço para a espessura ou diâmetro desejados (figura 55). Deste processo resulta um material com maior tensão de rotura, menor ductilidade, maior limite de elasticidade e maior resistência à corrosão (figura 56). É habitualmente utilizado na produção de cabos de pré-esforço.

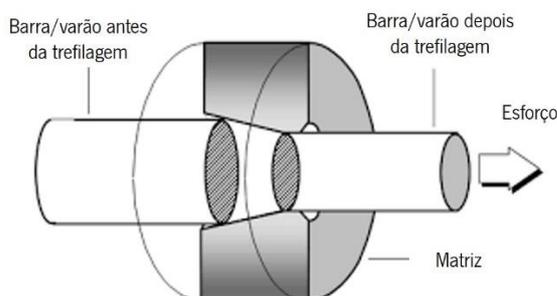


Figura 55: Representação do processo de trefilagem  
<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSFWFJ8kqrqjX4PUxp3U1Vw9KuPh-b5ayJehA&usqp=CAU>



Figura 56: Produto resultante da trefilagem  
<https://www.r2acos.com.br/acos/imagens/aco-trefilado-1045-quadrado.jpg>

Os aços podem ser classificados em aços carbono ou aços inoxidáveis. Os aços carbono (figura 57) são baratos, mas apresentam limitação de resistência mecânica e por isso apenas podem ser aplicados em condições não exigentes de resistência a tensões. No entanto, e de forma a superar esta adversidade, foram desenvolvidos aços ligados que contêm elementos de liga que melhoram as suas propriedades (Ferreira, 2006). Os aços inoxidáveis (figura 58), tal como o nome indica, têm como destaque o facto de resistirem à oxidação atmosférica e são aços de liga alta, contendo cromo e ferro. Estes elementos de liga concedem ao aço admirável resistência à corrosão, comparativamente com os aços carbono.



Figura 57: Aço carbono

<https://tubonasa.com.br/img/noticias/60/121017201904025ca35129512c1.jpeg>



Figura 58: Aço inoxidável

<https://lh3.googleusercontent.com/proxy/3jln1JMO4daa8JyXsd3K9IQSNT54SrqF1AfIM9-aCNIVP7rdD15bSh9IzxlGGr6zdUIKQRkCLdRdKKuBcvQrA74PLy9O1gPUXl8bimgf8p8BfS5f0k7XpcJy>

Atualmente, o aço é a mais importante liga metálica sendo aproveitado em variadas aplicações como ferramentas, máquinas e na construção civil. A sua aplicação é bastante vantajosa pois é um material com grande resistência à compressão e tração, leve, resistente à corrosão, moldável, permitindo obter peças com diferente geometria, de fabrico simples e económico e ecológico, podendo ser 100% reciclado. Devido ao seu notável comportamento estrutural permite a construção de estruturas de grande vão (figura 59).

Na construção pré-fabricada este material é bastante utilizado pois pode ser facilmente desmontado e é utilizado sobretudo em “frames” ou armações estruturais e em formato de painéis.



Figura 59: Exemplo de estrutura executada em aço  
(<https://civilizacaoengenhira.files.wordpress.com/2016/09/ac3a7o-2.jpg?w=525>)

### **Betão pré-fabricado**

Tal como a madeira, também o betão pode ser classificado como um material composto, consistindo numa mistura heterogénea de cimento, água, agregados e aditivos, as suas propriedades variam consoante as quantidades dos materiais constituintes.

O betão é, em escala global, o material mais utilizado na construção devido não só ao seu notável comportamento mecânico como à sua fácil trabalhabilidade, versatilidade e grande disponibilidade de recursos. Quando aplicado em conjunto com armaduras de aço, o comumente designado betão armado, é possível atingir quaisquer princípios de construção, desde armações estruturais (“frames”) até painéis. Enquanto numa construção tradicional com elementos reticulados em betão armado, o betão é fabricado em estaleiros através de centrais de betonagem, na construção pré-fabricada acontece o oposto, ou seja, os elementos pré-fabricados em betão armado são preparados, moldados e curados em fábricas. Deste modo são maiores a segurança e o controlo da execução das peças, os elementos são executados com maior rapidez pois a produção não depende das condições climáticas e do local da obra e não é necessária a utilização de cofragens.

Os elementos são fabricados em moldes planos (figura 60) ou verticais onde é possível obter superfícies de qualidade de betão exposto (Staub et al., 2008). Para além das superfícies lisas é possível obter superfícies texturadas com a aplicação de tratamentos químicos e mecânicos adequados.



Figura 60: Molde para fabrico de peças em betão

(<https://www.vollert.de/fileadmin/Vollert->

[Dateiliste/3\\_Referenzen/1\\_Betonfertigteilewerke/2016/SCG/Header\\_Prodktbilder/Einstiegsbild\\_Referenz\\_SCG\\_2016.jpg](https://www.vollert.de/fileadmin/Vollert-Dateiliste/3_Referenzen/1_Betonfertigteilewerke/2016/SCG/Header_Prodktbilder/Einstiegsbild_Referenz_SCG_2016.jpg))

Este material pode ser aplicado na sua forma planar, como painéis estruturais ou de fachada, em armações estruturais, ou elementos isolados, tais como pilares, vigas, lajes e fundações, o que o torna num material de aplicação versátil e de aplicação em todas as fases de construção (figura 61). A sua dimensão é apenas limitada pela capacidade de transporte e armazenagem.



Figura 61: Estrutura em betão pré-fabricado

([https://lh3.googleusercontent.com/proxy/cOnAnxZnAsx7nuEgll3ibAD38AhFEpK1\\_rx4Px1iqja7h2LOzY8gKrLCtsp3IGsUgHU0427MrU7Rs9ufuUrRmFha11INP21ciSlueVjJdRzdD-w95FgYwczdqzIOaCL533eT117\\_dltz\\_VmHwkcCGPls](https://lh3.googleusercontent.com/proxy/cOnAnxZnAsx7nuEgll3ibAD38AhFEpK1_rx4Px1iqja7h2LOzY8gKrLCtsp3IGsUgHU0427MrU7Rs9ufuUrRmFha11INP21ciSlueVjJdRzdD-w95FgYwczdqzIOaCL533eT117_dltz_VmHwkcCGPls))

## Compósitos

Os materiais compósitos podem ser definidos como misturas não solúveis de dois ou mais constituintes com distintas composições, estruturas e propriedades que se combinam e em que um dos elementos garante a ligação, a denominada matriz, e o outro a resistência (Moreira, 2008).

Estes materiais foram desenvolvidos com o propósito de, através da combinação de diversos materiais, produzir um único material com propriedades superiores às dos componentes isolados (Moreira, 2008).

Os compósitos podem ser reforçados com fibras, com partículas ou podem ser compósitos estruturais, tais como painéis *sandwich* e laminados.

A matriz, para além de garantir a ligação entre elementos, deve apresentar uma boa adesão às fibras e proporcionar resistência a fatores externos como temperaturas extremas e impactos. Relativamente ao comportamento estrutural deve assegurar uma baixa condutividade térmica, ductilidade e grandes resistências ao corte e tração. Os materiais mais comumente utilizados como matriz são o carbono, os polímeros, os cerâmicos, os metais e o betão.

O reforço é geralmente mais resistente que a matriz. Os reforços podem ser na forma de fibras de vidro, aço, fibras de carbono ou aramida, entre outras.

As fibras de vidro (figura 62) são mais económicas, comparativamente com as fibras de carbono e aramida, apresentam boas propriedades para isolamento, quer térmico, eléctrico ou acústico, elevada resistência química, à tração e compressão. No entanto, têm baixa resistência à fadiga e módulo de elasticidade reduzido.

As fibras de carbono (figura 63) têm como vantagem a elevada resistência à tração, a baixa massa específica, o baixo coeficiente de dilatação térmica e a elevada estabilidade dimensional. No entanto, apresentam fratura frágil, ou seja, baixa deformação antes da fratura, baixa resistência à compressão e o seu custo é ainda bastante elevado.



Figura 62: Fibra de vidro

([https://serranocompositos.weebly.com/uploads/4/6/7/2/46728813/3413675\\_orig.jpg](https://serranocompositos.weebly.com/uploads/4/6/7/2/46728813/3413675_orig.jpg))



Figura 63: Fibra de carbono

(<https://img.ibxk.com.br/2015/03/05/05114737579454.jpg?w=328>)

No caso de compósitos de matriz cimentícia, como por exemplo o betão, normalmente são reforçados através de duas técnicas, designadamente fibras discretas (aço, vidro ou poliméricas) ou através de FRPs (*Fibre Reinforced Polymers*), os quais são matrizes poliméricas usualmente reforçadas com fibras de

carbono, vidro ou aramida.

Os métodos de fabricação destes materiais variam de acordo com o material e o tipo de características que se pretende atingir. Os materiais compósitos, devido às suas propriedades e eficiência, podem ser aplicados em diversos campos da Engenharia (figura 64).

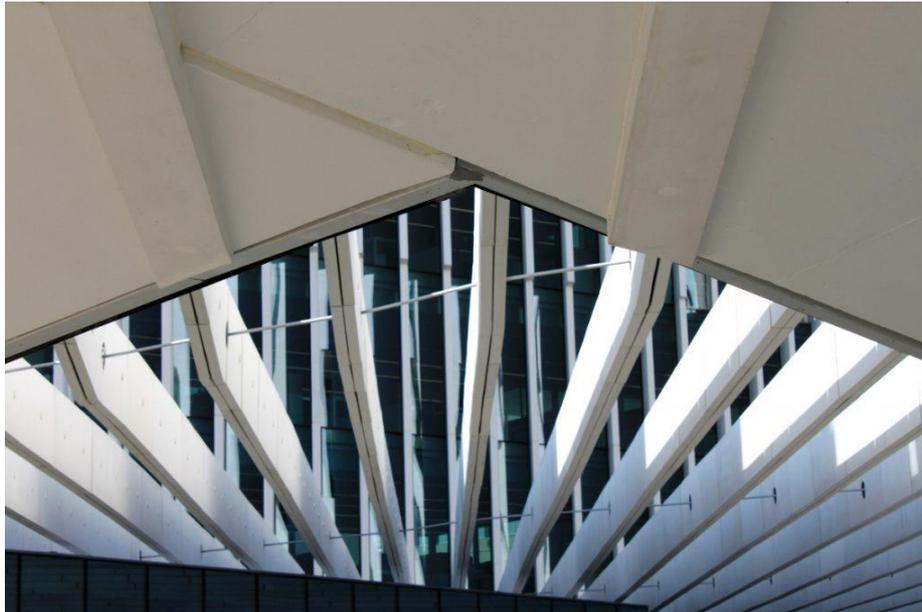


Figura 64: Estrutura executada com betão reforçado com fibra de vidro  
(<https://engenharia.mota-engil.pt/wp-content/uploads/2016/08/Sede-EDP-GRC-1024x683.jpg>)

### **2.3.3. Componentes / sistemas**

Os sistemas construtivos devem estabelecer um conjunto de processos construtivos, onde todos os componentes se relacionam entre si, criando como produto final o edifício.

Os sistemas de construção têm como base cinco fundamentos: i) a localização, ii) a estrutura, iii) as fachadas, iv) os serviços e v) o espaço. No entanto, na construção pré-fabricada, a localização não é um fator relevante pois os materiais e estruturas que serão utilizados são produzidos em unidades fabris. Assim, neste capítulo, apenas se fará referência aos restantes subsistemas.

#### **Estruturas**

As estruturas são um conjunto de elementos resistentes, ou seja, são sistemas que recebem solicitações externas e que as transmitem aos apoios, de modo a manter o seu equilíbrio estático. As estruturas são compostas por fundações, elementos de suporte verticais e horizontais, como pilares e vigas, paredes, pisos e telhados. As solicitações podem ser devido ao peso próprio da estrutura ou fatores climáticos,

como chuva, neve ou vento.

As estruturas que resistem às cargas verticais e horizontais podem ser do tipo estruturas massivas (“*mass structures*”) ou estruturas porticadas (“*frame structure*”).

As estruturas massivas (figura 65) são estruturas sólidas com função de transferência de cargas, não através de elementos distintos mas através de superfícies e sólidos (Smith, 2010).

As estruturas porticadas (figura 66) são sistemas executados principalmente em betão armado, madeira ou aço, e com resistência suficiente para resistir a tensões de tração. Os pórticos são compostos por elementos de vão horizontal e elementos de vão vertical, como vigas e pilares, respetivamente.



Figura 65: Exemplo de estrutura massiva  
([https://aidanross7.files.wordpress.com/2010/10/20070719175616all\\_gizah\\_pyramids.jpg](https://aidanross7.files.wordpress.com/2010/10/20070719175616all_gizah_pyramids.jpg))



Figura 66: Exemplo de estruturas em frame  
(<https://4.imimg.com/data4/XM/JX/MY-16574302/steel-frame-structures-500x500.jpg>)

### **Revestimentos e fachadas**

As fachadas dos edifícios são meios físicos de separação entre ambientes interiores e exteriores. Para além da sua importante função estética e arquitetónica devem proteger das ações dos agentes atmosféricos e, conseqüentemente, apresentar um bom desempenho relativamente a características como isolamentos, térmico e acústico, estanquidade à água e ao ar, resistência ao fogo, facilidade de execução, manutenção e durabilidade.

Na construção de uma fachada que responda às necessidades e requisitos da sociedade devem ser considerados aspetos como a função, a construção, nomeadamente o tipo de material e o método de execução e montagem, a forma e estética da fachada e o ambiente, ou seja, o seu desempenho durante o ciclo de vida. Então as fachadas, para além da sua importante função estética e arquitetural, devem, por exemplo, proteger das ações dos agentes atmosféricos, apresentar bom isolamento térmico e

acústico, estanquidade à água e ao ar, resistência ao fogo, facilidade de execução e manutenção e durabilidade. No entanto, a forma como um revestimento é desenvolvido como uma série de elementos que podem ser fabricados e montados rapidamente tem um grande impacto no orçamento global do projeto (Smith, 2010) pois todos estes critérios estéticos, funcionais e de desempenho determinam o grau de pré-fabricação e os métodos construtivos de um edifício.

A construção e o design de uma fachada estão diretamente ligadas uma vez que ambas determinam e definem o aspeto visual e final do edifício.

As fachadas, que têm como função a separação entre ambiente exterior e ambiente interior, podem ser concebidas em alvenaria, madeira (figura 67) ou pedra, caso se trate de fachadas mais tradicionais, ou em vidro, metal, cerâmica ou painéis de betão (figura 68), no caso de fachadas mais contemporâneas. Atualmente, de modo a aumentar o desempenho energético de uma fachada, podem ser executadas com revestimentos de diferentes materiais e dispostos em multicamadas, onde cada camada serve uma função bem definida. Já nas fachadas de vidro, devido ao avanço da tecnologia, é possível obter vários níveis de opacidade, transparência e translucidez.

As fachadas pré-fabricadas realizadas em painéis de vidro, madeira ou metal são do tipo multicamada, em que cada camada desempenha uma função específica contra infiltrações de água e ar, transmissões térmicas e acústicas e visibilidade. Estas camadas são montadas em fábrica e colocadas no local na armação da superestrutura (Smith, 2010).



Figura 67: Exemplo de fachada em madeira  
(<https://i.pinimg.com/originals/62/1b/9b/621b9bf890964ba f1167e5d33c7efd74.jpg>)



Figura 68: Exemplo de fachada em betão  
(<https://i.pinimg.com/236x/1b/b1/d8/1bb1d809c1f96f18c4 27e624a0345ddd.jpg>)

## **Infraestruturas**

Das infraestruturas de um edifício fazem parte a canalização, o aquecimento, eletricidade, ventilação e equipamentos de deslocação como escadas rolantes e elevadores.

Atualmente, certas unidades de infraestruturas podem ser produzidas como módulos e localizados no edifício. Assim, zonas como cozinhas, casas de banho e salas de comunicação são equipadas na fábrica e depois montadas nas estruturas dos edifícios. Quando uma infraestrutura apresenta um elevado grau de repetição e funções utilitárias acaba por ser ideal para construções pré-fabricadas.

## **Espaços interiores**

Os materiais utilizados nos interiores de um edifício são usualmente materiais que não podem ser utilizados ou não apresentam características favoráveis à sua utilização no exterior.

Os sistemas interiores podem provocar diversas sensações no habitante que experimenta o espaço e por isso acaba por ser o sistema de construção mais temporário pois podem ser alterados sempre que um novo proprietário se acomoda. De modo a conseguir responder a esta necessidade frequente de mudança de ambientes, os fabricantes começam a desenvolver sistemas pré-fabricados que permitem fácil montagem e desmontagem (Smith, 2010).

### **2.3.4. Tipologia**

A construção pré-fabricada engloba diversas técnicas construtivas e diferentes sistemas e tipos estruturais. Assim, as edificações podem ser executadas através de módulos, volumétricos ou não-volumétricos, através de painéis ou de elementos lineares (“*frames*”).

A escolha do tipo de construção a utilizar deve ser realizada no início do processo de design de modo a conseguir uma otimização das soluções construtivas. Devido à grande variedade de projetos é necessário, no início da fase de conceção, realizar uma avaliação detalhada para determinação da metodologia ou combinação de metodologias construtivas que podem ser mais apropriadas (Lucchetti et al., 2017) para o efeito. No entanto, o modo da divisão da estrutura global em sub-módulos acaba por ser um fator decisivo no método construtivo.

A forma e o tipo do módulo são condicionados por aspetos como o tipo de serviço que o edifício prestará, as suas dimensões e a localização, nomeadamente os acessos e restrições e a sua geometria depende de fatores logísticos como o peso, dimensões e do sistema estrutural requerido para o desenvolvimento da solução. Também os acabamentos, tanto exteriores como interiores, podem já estar incluídos nos

componentes modulares.

Apesar do objetivo da construção modular ser a eliminação do trabalho *in-situ* e a maximização da pré-fabricação, o grau apropriado de pré-fabricação para um projeto requer a ponderação de vários fatores de influência (Lucchetti et al., 2017) como, por exemplo, o custo, a segurança, a qualidade, a eficiência e a facilidade de concepção.

### **Módulo volumétrico**

Os módulos volumétricos consistem em unidades que delimitam o espaço útil mas que não constituem, por si só, todo o edifício (Gibb, 1999). Uma vez que são unidades tridimensionais, completas e totalmente produzidas em fábrica requerem apenas a ligação entre as mesmas, quando instaladas no local. No espectro do grau de pré-fabricação, o módulo volumétrico é o que tem maior grau, ou seja, mais de 95% da sua estrutura é definida e executada em fábrica.

É importante não confundir os conceitos de construção modular e construção pré-fabricada. Enquanto a construção modular se caracteriza pela normalização dimensional, repetição e uniformização de processos e materiais, com vista à melhoria e eficiência produtiva, a pré-fabricação é um método de construção que consiste na execução parcial ou total em unidades fabris, com recurso a elementos pré-fabricados, que são depois ligados e montados no local da obra.

Uma vez que os módulos ocupam um volume muito maior é necessário ter em consideração todas as ações de transporte e manuseamento, tornando esta forma modular relativamente mais complexa do que as restantes.

É frequente a utilização deste tipo para a concepção de compartimentos de serviço (Costa, 2013), como instalações sanitárias, cozinhas ou elevadores, assim como hotéis, hospitais, escolas e habitações multifamiliares.

Com o desenvolvimento da construção modular os sistemas construtivos tornaram-se ainda mais diversos. De modo a ser possível atingir um certo nível de uniformização e permitir o planeamento de interfaces com revestimento ou outros serviços, os produtos modulares podem ser classificados como sistemas aberto, parcialmente aberto, fechado ou misto.

Os sistemas modulares abertos consistem em módulos parcialmente ou totalmente abertos nos quatro lados, compostos apenas por elementos verticais, como pilares, lajes de cobertura e de pavimento, no entanto podem ser acoplados entre si de modo a criar espaços amplos e fechados. Para além disto, oferecem a possibilidade de utilizar produtos de diferentes fabricantes, permitindo a combinação de elementos conforme necessário (Smith, 2010).

Os sistemas modulares fechados (figura 69) são módulos com os quatro lados fechados e com aberturas

nas extremidades apenas para portas ou janelas. As suas dimensões máximas são condicionadas por fatores como transporte e condições ambientais, ou seja, a largura máxima que o módulo pode ter é limitado pelo transporte e instalação, e a altura máxima depende da localização e exposição à ação do vento podendo, mesmo assim, ser utilizado para edifícios de 6 a 10 pisos. Neste tipo de classe o fabricante produz todos os elementos, podendo desenvolver edifícios inteiros ou elementos parciais (Smith, 2010), que devem ser coordenados com os produtos de outros fabricantes. Por esta razão, a gama de opções para customização e liberdade arquitetónica tornam-se bastante limitadas.

Os sistemas modulares parcialmente abertos, apesar de serem também de 4 lados, podem ser concebidos com os lados parcialmente abertos, permitindo a ligação com outros módulos do mesmo género. Assim, vários módulos podem ser interligados para a criação de espaços mais amplos. Este tipo de módulo é geralmente utilizado na renovação e ampliação de edifícios existentes (Lawson, 2007) onde podem ser acrescentadas, por exemplo, novas varandas ou casas de banho.

Os sistemas modulares mistos consistem na junção de vários tipos de sistemas modulares, com utilização de diversos materiais.

Os materiais mais utilizados na fabricação dos módulos são o aço e a madeira.



Figura 69: Exemplo de edifício executado com módulos  
(<https://www.realprojectives.com/wp-content/uploads/modular-construction.jpg>)

### Módulos volumétricos em aço

Os módulos em aço (figura 70) são usados, geralmente, para edifícios comerciais em altura. Estes consistem em estruturas de aço soldadas ou aparafusadas e perfis de aço que formam uma estrutura tridimensional (Staub et al., 2008), semelhante a uma estrutura porticada, e, quando empilhados,

formam uma estrutura de suporte de carga de todo o edifício.

Os módulos já trazem incorporados os painéis de parede. Os revestimentos interiores podem ser executados com placas de gesso cartonado ou painéis de madeira e os revestimentos exteriores são usualmente painéis de aço galvanizado ou painéis *sandwich*. Para a concretização dos pisos são utilizadas chapas de aço perfiladas com isolamento térmico e também revestimento de piso.

Uma vez concluídos, os módulos são transportados para o local da obra e elevados com equipamentos como guas. São normalmente erguidos andar a andar e num curto período de tempo, sendo posteriormente interligados através de soldas, grampos ou parafusos.



Figura 70: Módulo em aço  
([https://www.steelconstruction.info/images/thumb/d/d9/N2\\_Fig12.png/400px-N2\\_Fig12.png](https://www.steelconstruction.info/images/thumb/d/d9/N2_Fig12.png/400px-N2_Fig12.png))

### Módulos volumétricos em madeira

Os módulos volumétricos em madeira consistem na utilização combinada de painéis horizontais, para os telhados, e painéis verticais para as paredes.

Inicialmente é erguida uma estrutura tridimensional em elementos de madeira compósito para suporte de carga. De seguida os espaços entre os montantes verticais são preenchidos com material de isolamento para assegurar as proteções acústica e térmica. O contraventamento é garantido através do revestimento dos dois lados da estrutura com painéis de madeira compósito (Staib et al., 2008) ou com revestimento de paredes internas com painéis de gesso cartonado. Nas lajes de piso, ao invés da utilização de painéis de madeira, podem ser utilizadas betonilhas.

Após a conclusão da montagem do módulo, incluindo isolamentos, instalações para abastecimento e drenagem de água residuais, instalações elétricas e acabamentos, os módulos são transportados para o

local da obra através de caminhões e posicionados no local exato através de guias, sendo depois ligados às fundações e ligados entre si.



Figura 71: Módulo em madeira

*([https://divisare-res.cloudinary.com/images/c\\_limit,f\\_auto,h\\_2000,q\\_auto,w\\_3000/v1463557303/nbmsj6izzdsauygzlqfs/ppa-architectures-philippe-ruault-50-modular-timber-apartments.jpg](https://divisare-res.cloudinary.com/images/c_limit,f_auto,h_2000,q_auto,w_3000/v1463557303/nbmsj6izzdsauygzlqfs/ppa-architectures-philippe-ruault-50-modular-timber-apartments.jpg))*

### Módulos volumétricos em betão armado

Os módulos de betão armado podem ser executados em betão leve ou betão normal.

Neste tipo de módulos todos os elementos constituintes, tais como pisos, lajes e paredes, devem ser dimensionados e reforçados para cumprimento das funções estruturais.

Os elementos são concebidos em instalações especializadas para o efeito, em moldes verticais de aço e sem a aparência das juntas. A combinação dos módulos, quando montados no local, cria automaticamente uma parede dupla, o que é vantajoso para assegurar os níveis de proteção contra incêndio e acústicos (Staub et al., 2008).

Os módulos podem ser fabricados em forma de U e com dimensões variadas e podem ser utilizados na edificação de vários andares, no entanto, como estes módulos são fabricados com betão armado, o seu peso é mais elevado e são necessários equipamentos mais pesados e potentes para proceder à elevação dos mesmos.



Figura 72: Módulo em betão armado  
(<https://www.mpsi.me/wp-content/uploads/2014/05/mip1.jpg>)

#### Módulos volumétricos de serviço (casa de banho)

Os módulos de serviço, nomeadamente os de casa de banho (figura 73), estão incluídos nos módulos de serviço que mais frequentemente são utilizados.

Produzidos totalmente em fábrica, e sob um controlo rigoroso, os módulos apresentam assim acabamentos de alta qualidade, tornando a sua utilização extremamente eficiente, uma vez que para a conclusão de um módulo de serviço é necessária a realização de trabalhos elétricos, tubagens e acabamentos, entre outros.

O transporte dos mesmos para o local da obra, e posterior elevação, são operações que devem ser realizadas com o maior cuidado para evitar danos nos acabamentos.

Os módulos de casa de banho podem ser utilizados em conjunto com outro tipo de construção pré-fabricada, como por exemplo a construção com recurso a “frames”.



Figura 73: Exemplo de módulo de casa de banho  
(<https://www.howickltd.com/asset/310/w800-h600.jpeg>)

### **Módulo não-volumétrico**

A construção modular não-volumétrica consiste em elementos que são ligados *in-situ* de modo a criar um espaço fechado. O transporte dos elementos é realizado de forma mais compacta do que os módulos volumétricos (Lucchetti et al., 2017), o que permite minimizar os custos de transporte. Como a montagem é executada *in-situ* pode haver a necessidade de trabalhos temporários de modo a fornecer apoio provisório até à sua incorporação na estrutura definitiva (Lucchetti et al., 2017).

Módulos não-volumétricos podem ser, por exemplo, divisórias internas, partes da estrutura ou revestimento de um edifício.

### **Painéis**

Na construção modular à base de painéis, pisos ou paredes são produzidos em fábrica e depois transportados até ao local de obra e ligados entre si. Estes são de natureza plana, de espessura significativamente menor que as outras suas duas dimensões. Estes são utilizados na execução de telhados, pavimentos, paredes estruturais, paredes divisórias e espaços com ou sem capacidade de carga.

A modulação através de painéis permite acelerar o processo construtivo e reduzir os desperdícios de material. No entanto, como também se trata de construção modular não volumétrica, pode haver necessidade de instalação de locais de apoio temporários como locais para armazenamento dos elementos.

Os sistemas de painéis para habitação foram desenvolvidos devido à natureza plana de muitos materiais de construção e à facilidade de distribuição de serviços (Smith, 2010), como cablagens elétricas e canalização através de cavidades próprias para o efeito.

Os tipos de painéis mais utilizados são os painéis de betão pré-fabricados, os painéis isolados estruturais ou SIP's e painéis de madeira.



Figura 74: Exemplo de aplicação de painéis pré-fabricados  
(<https://i.pinimg.com/originals/0d/a4/9d/0da49dbac6a7b0437e601aade6406978.jpg>)

### Painéis de madeira

Os painéis pré-fabricados em madeira não são fabricados em madeira maciça, mas com compósitos de madeira. Estes consistem em sistemas à base de madeiras compostos com outros materiais, como fibras ou colas, que permitem melhorar o comportamento mecânico e aumentar a capacidade resistente. Devido a estas vantagens a utilização de compósitos cresceu exponencialmente ao longo dos anos, potencializando-se como um substituto para o aço. O compósito mais utilizado na construção pré-fabricada com painéis é a madeira lamelada colada cruzada (CLT – *cross laminated timber*).

A CLT (figura 75) consiste em painéis estratificados de grandes dimensões com, no mínimo, três camadas e espessuras entre os 20 mm e os 40 mm. De modo a garantir a estabilidade e rigidez do painel, as camadas são coladas em ângulos de 90° relativamente à última camada.

A utilização deste material é bastante vantajosa pois podem ser utilizados como elementos estruturais, como telhados, pisos e paredes (figura 76), ou em revestimentos e compartimentação, apresentam bom isolamento térmico e acústico, boa resistência ao fogo pois, em caso de incêndio, o edifício mantém a sua capacidade estrutural e, como se tratam de elementos pré-fabricados, o tempo de construção no local acaba por ser reduzido.



Figura 75: Painéis de madeira CLT  
([https://images.adsttc.com/media/images/5d4b/4d6e/284d/d154/4b00/0008/medium\\_jpg/39309537250\\_7e143fa5cf\\_b.jpg?1565216106](https://images.adsttc.com/media/images/5d4b/4d6e/284d/d154/4b00/0008/medium_jpg/39309537250_7e143fa5cf_b.jpg?1565216106))



Figura 76: Aplicação de painéis CLT em coberturas  
([https://www.jular.pt/files/images/placas/Megapan\\_intro1\\_L900.jpg](https://www.jular.pt/files/images/placas/Megapan_intro1_L900.jpg))

As placas OSB (figura 77), ou placas de partículas orientadas, são placas estruturais formadas por lamelas de madeira denominadas de “*strand*”. As partículas “*strand*” são aglutinadas com ceras e resinas e depois prensadas a altas temperatura e pressão unindo-as numa camada.

A madeira utilizada na fabricação do “*strand*” não necessita de ser de grande qualidade, utilizando-se sobretudo madeiras provenientes de troncos finos e madeiras de desbaste, uma vez que serão posteriormente laminados. A geometria dos “*strands*” é um dos parâmetros que controla o seu grau de orientação no processo de formação dos painéis OSB (Bastos, 2009).

Semelhante aos painéis de madeira CLT, cada placa resultante do processo possui três camadas dispostas perpendicularmente entre si, conferindo ao painel maior estabilidade e resistência. Para além do bom comportamento estrutural e baixo custo acaba por ser uma solução mais sustentável, uma vez que resulta de aproveitamentos de madeira, enquanto as restantes soluções referidas necessitam de árvores de diâmetro uniforme (Nascimento et al., 2014).

Este material pode ser aplicado, por exemplo, em aplicações decorativas ou como base para pisos e paredes de edifícios residenciais, revestimentos para telhado (figura 78), plataformas e de estruturas em LSF.



Figura 77: Placas OSB  
([https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1a8ZOKFXXXXjaXXXq6xXFXXY.jpg\\_350x350.jpg](https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1a8ZOKFXXXXjaXXXq6xXFXXY.jpg_350x350.jpg))



Figura 78: Exemplo de aplicação das placas OSB  
(<https://i.pinimg.com/originals/ca/d6/f7/cad6f79832009100f313caf8b1eb29a3.jpg>)

A placa microlamelada cruzada (LVL - *Laminated Veneer Lumber*) (figura 79) é um produto compósito, de alta resistência, formado por camadas de madeira finas e espessura uniforme, unidas através de uma cola de fenol formaldeído, sendo depois alvo de uma pulverização com poliuretano para impermeabilização da estrutura.

Dada a sua organização estrutural, o LVL é uniforme e comparável, em resistência, à madeira maciça, betão ou aço. É também mais durável e menos propenso ao encolhimento ou deformação, dependendo disso da espécie de madeira utilizada. Além disto apresenta baixo custo relativo, e o facto de que pode ser fabricado com qualquer comprimento e formas desejadas, abre portas para uma infinidade de possibilidades de design (V. F. de A. Lopes, 2015) (figura 80).



Figura 79: Painel de madeira LVL  
([https://img.archiexpo.com/pt/images\\_ae/photo-g/59793-14974259.jpg](https://img.archiexpo.com/pt/images_ae/photo-g/59793-14974259.jpg))

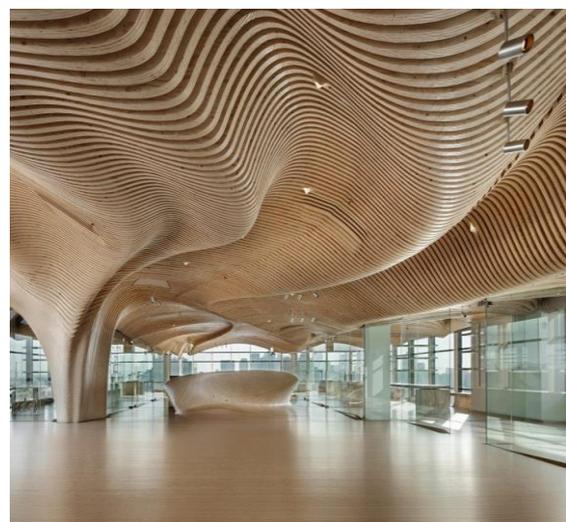


Figura 80: Exemplo de aplicação da madeira LVL  
(<https://i0.wp.com/carpinteria.com.br/wp-content/uploads/2019/01/materia-lunch-session-healthy-materials-06.jpg?w=1080&ssl=1>)

### Painéis SIP (*Structured Insulated Pannels*)

Outro sistema comum de painéis de madeira para aplicações residenciais e comerciais leves é o dos painéis SIP's (figura 81). Introduzido pela primeira vez, em 1935, por investigadores do Laboratório de Produtos Florestais em Wiscosin, nos Estados Unidos (Panjehpour et al., 2013), os painéis SIP consistem em dois revestimentos estruturais, usualmente aglomerados de partículas orientadas (OSB - *Oriented Strand Board*) ou contraplacado e um núcleo de espuma isolante rígida, como poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudido (XPS) ou poliuretano (PUR).



Figura 81: Constituição de um painel SIP  
(<https://www.nohara.in/wp-content/uploads/2017/10/sip-panel-1.jpg>)

Para que a montagem no local seja mais eficiente e rápida, em fábrica são cortados orifícios e entalhes para a cablagem elétrica, localizados de acordo com a disposição do edifício. Estando todas as linhas operacionais, o resto do orifício é preenchido com espuma expansível.

Estes painéis apresentam maior resistência ao fogo, maior capacidade resistente e isolante comparativamente com os sistemas convencionais mais utilizados.

O processo de fabrico dos SIPs consiste, primeiramente, na conceção das placas OSB, em que são triturados troncos de madeira de modo a criar as partículas "*strand*". Prosseguem depois para secagem e mistura com uma série de resinas e, finalmente, para prensagem, criando a forma final das placas. O processo final consiste na colagem dos revestimentos ao núcleo, terminando com uma nova prensagem. Apesar de ser mais frequente a utilização de painéis com espuma EPS, os que são fabricados com poliuretano apresentam maior resistência mecânica a forças de compressão e melhor capacidade de isolamento. Também o modo de aplicação do núcleo influencia na sua capacidade resistente, ou seja,

enquanto a espuma EPS é simplesmente colada sobre o revestimento exterior, a espuma PUR é injetada e adere a todas as superfícies (Lucchetti et al., 2017), criando uma ligação sólida entre o núcleo e o revestimento.

Em suma, e como se trata de um método de construção recente e com um material promissor, ainda não existe formação especializada para a sua implementação, levando a que construtores, engenheiros e clientes optem por utilizar métodos de pré-fabricação mais convencionais.

#### Painéis *sandwich* pré-fabricados com camadas externas em BACRFA ligadas por conectores em GFRP

O material que de seguida será referido trata-se de um material recente e inovador que nasceu no âmbito do projeto de investigação “LEGOUSE – Pré-fabricação Modular de Edifícios de Custos Controlados”, cujo propósito foi o da idealização, dimensionamento e execução de habitações modulares de custos controlados com a utilização de novos materiais e ferramentas de cálculo avançado.

Os painéis *sandwich* mais comuns são compostos por dois revestimentos estruturais e um núcleo de espuma isolante. Assim, neste painel os revestimentos estruturais tratam-se de camadas de betão auto-compactável reforçado com fibras de aço (BACRFA) preenchidos por um material de isolamento térmico (Barros et al., 2015) comum, ligados por conectores de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) (figura 83).

O betão auto-compactável reforçado com fibras de aço (BACRFA) permite a apresentação de elementos estruturais pré-fabricados de elevado desempenho, elevada resistência, boa durabilidade e boas propriedades de isolamento e, devido à sua leveza, são facilmente e rapidamente manuseados. Soma-se ainda o facto de que a utilização de camadas em BACRFA permite eliminar a armadura convencional e desse modo reduzir a espessura e peso do painel sem comprometer a estabilidade estrutural necessária com aumento da durabilidade (Barros et al., 2015) pois não são utilizados materiais vulneráveis a fenómenos de corrosão.

A ligação entre as camadas dos painéis *sandwich* de betão tradicionais é efetuada com recurso a conectores metálicos, treliças ou maciços de betão, contudo estas soluções apresentam elevada condutibilidade térmica, aumentando o fluxo de calor e conseqüentemente o aparecimento de condensações e redução do conforto térmico interno. Assim, foi desenvolvido um conector em GFRP, o qual assegura um bom funcionamento tanto ao nível de conforto como a nível estrutural. Estes são planos e perfurados e a sua ligação ao BACRFA é efetuada por intermédio de furos executados no conector para passagem do BACRFA (Barros et al., 2015).

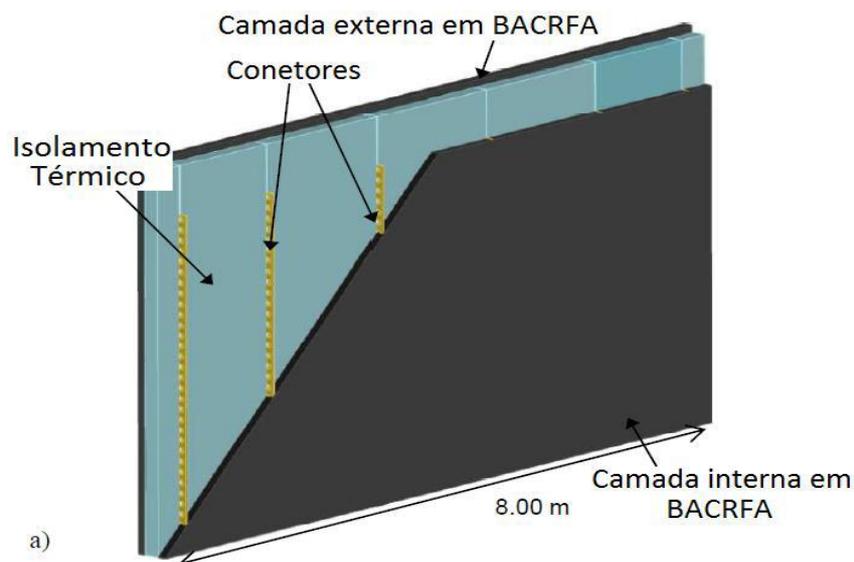


Figura 82: Painel sandwich com camadas em BACRFA e conectores em GFRP  
(Retirado de (Barros et al., 2015))

Este material de construção inovador pode ser aplicado numa vasta gama de edificações (figura 83), nomeadamente edifícios comerciais, industriais e de habitação, com funções de fachada ou lajes de pavimento e cobertura. Quando aplicados como painéis de fachada podem tornar-se elementos estruturais principais, possibilitando a transferência de cargas entre os painéis de laje e a fundação sem necessidade de implantação (Barros et al., 2015) de vigas e pilares. Já como lajes de cobertura, o seu apoio é feito diretamente nas camadas interiores dos painéis de fachada, descartando a necessidade de elementos estruturais intermédios em toda a extensão das paredes exteriores.

O processo de produção dos painéis é relativamente simples, iniciando-se com a betonagem da camada inferior com betão autoclavado reforçado com fibras de aço, de seguida é aplicada a camada de isolamento e situados os conectores de polímero reforçados com fibras de vidro e finalmente betona-se a camada superior em betão autoclavado reforçado com fibras de aço. Seguem depois para um período de cura de 24 horas antes de se proceder à desmoldarização e manuseamento. Após o transporte para o local da obra os painéis são ligados entre si e depois às fundações. Para finalizar são instaladas as redes de serviço essenciais como redes de abastecimento e drenagem de águas, redes de comunicações e elétricas.

Em suma, e apesar de se tratar de um material recente, a conjugação entre as camadas externas em BACRFA com núcleo de isolamento térmico ligadas por conectores em GFRP apresentam características que tornam a sua utilização vantajosa relativamente aos tradicionais painéis *sandwich* de betão. Como se trata de uma construção modularizada a construção é feita de forma rápida e eficiente, com otimização e da utilização dos materiais, evitando desperdícios. Relativamente a comportamentos térmico e acústico, o

material apresentou um desempenho igual ou superior às construções convencionais (Barros et al., 2015), mesmo que as soluções que incluam sistemas de isolamento ETICS.



*Figura 83: Protótipo construído com painéis sandwich com camadas em BACRFA e conectores em GFRP (Retirado de (Barros et al., 2015))*

#### Painéis de betão pré-fabricados

A utilização de betão na construção de edifícios não é exclusiva da construção tradicional e, na construção pré-fabricada, é conseguida através da sua aplicação na forma de painéis (figura 84).

Estes painéis podem ser uma solução vantajosa comparativamente com outras soluções pois é um material de elevada resistência, económico, leve e com boa capacidade moldável e flexibilidade, possibilitando a obtenção de diferentes soluções arquitetónicas. É também fácil e rápido de aplicar e, por ser executado em fábrica, permite a redução de mão de obra.

Como qualquer outro elemento pré-fabricado, os painéis são peças simples totalmente produzidas em fábrica que são depois transportadas e montadas no local, onde se unirão com outras peças criando a superestrutura. Este processo é vantajoso no que toca ao controlo da qualidade ou segurança, uma vez que podem ser verificadas as posições dos reforços e as características do betão após o seu endurecimento, e permite uma maior rapidez pois pode ser produzido independentemente das condições climáticas do local da obra.



Figura 84: Painéis de betão pré-fabricado

([https://www.sepsancho.com/galeria-virtual/images/thumbnails/1236/768/detailed/2/Paineis\\_Fachada\\_Bet%C3%A3o\\_-\\_2.jpg?t=1470838024](https://www.sepsancho.com/galeria-virtual/images/thumbnails/1236/768/detailed/2/Paineis_Fachada_Bet%C3%A3o_-_2.jpg?t=1470838024))

O processo de fabrico dos painéis é feito em mesas de pré-fabricação, permitindo o fabrico de elementos de pouca espessura e grande área.

Os painéis podem ser efetuados em mesas fixas, mesas basculantes (figura 85) ou bateria de painéis. As mesas fixas são utilizadas para a produção de lajes de pavimento e elementos de cerramento de fachadas industriais, as mesas basculantes são utilizadas para a produção de elementos de fachadas arquitetónicas de edifícios de comércio e habitação e as baterias de painéis são destinados à construção modular de edifícios com grande repetição de unidades (Machado, 2015).

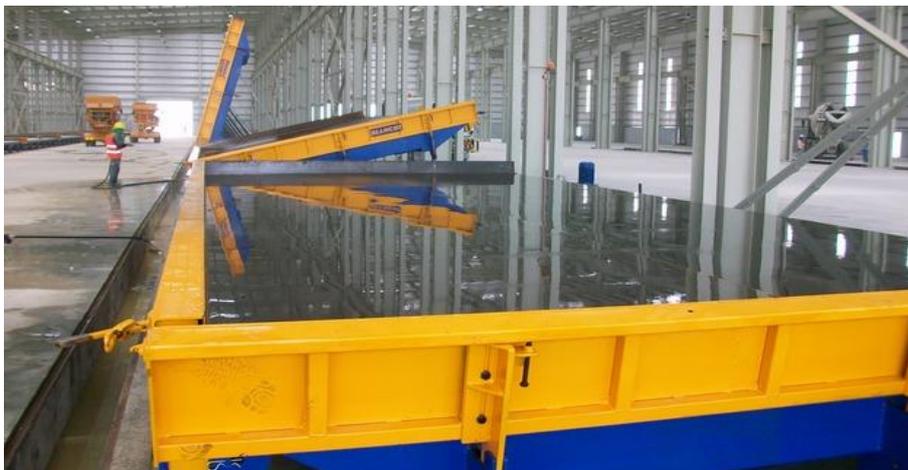


Figura 85: Mesa basculante

([https://www.bianchiformas.com.br/system/image\\_products/473/bigger/Bianchi.formas.mesa.basculante.paine\\_\(1\).JPG?145010625](https://www.bianchiformas.com.br/system/image_products/473/bigger/Bianchi.formas.mesa.basculante.paine_(1).JPG?145010625))

O processo de fabrico destes produtos engloba várias etapas, tais como moldagem, betonagem, cura, desmoldagem e armazenamento, sendo depois transportados para o local de montagem.

Inicialmente, procede-se à limpeza das mesas de modo a retirar quaisquer impurezas e sujidades de utilizações anteriores e de seguida à colocação das réguas que limitam e dão forma ao painel (Machado, 2015). Devem ainda ser submetidos a rígidos controlos de qualidade para evitar falhas ou defeitos nas peças que irão ser betonadas.

De modo a facilitar a descofragem os moldes deverão ser untados com óleo descofrante e este deve ser aplicado em quantidades controladas para não originar manchas nas peças de betão.

Com os moldes finalizados procede-se à colocação da armadura, com os respetivos espaçadores, de modo a garantir o recobrimento decretado no projeto, e as ferragens necessárias para movimentação dos painéis. A peça é então betonada e vibrada através de vibradores de cofragem instalados nas mesas. Por fim, procede-se ao alisamento da superfície de acabamento e colocam-se as ferragens de ligação dos painéis à estrutura de suporte (Machado, 2015).

No processo de cura deve ser assegurada a proteção do betão para que não haja uma rápida libertação da humidade e conseqüente micro fissuração e perda de resistência. A resistência do mesmo é verificada através da remoção de amostras.

Verificando-se que o betão já apresenta resistência procede-se à desmoldagem da peça com recurso a movimentos cuidados para não danificar a peça. A peça é depois submetida a testes de verificação de controlo e qualidade. Caso se encontre em conformidade com o projeto de preparação, a peça segue para armazenamento.

O armazenamento das peças é assegurado em cavaletes de madeira de modo a facilitar a mobilidade para posterior transporte (Marques, 2012).

O transporte das peças finalizadas é realizado por camiões sobre cavaletes ou paletes de madeira, devendo as peças estar protegidas para que não sofram qualquer dano.

Os painéis, após o transporte, são colocados no local da obra por meio de gruas ou camião grua.

Tanto as fases de transporte e montagem condicionam as dimensões e pesos máximos admissíveis dos elementos pré-fabricados.

Os painéis de betão pré-fabricados podem ter função estrutural ou de revestimento.

Segundo a empresa Farcimar (Farcimar, 2018), os painéis estruturais (figura 86) compreendem dois painéis de betão armado pré-fabricados ligados através de conectores metálicos e, opcionalmente, um painel de isolamento térmico e podem ser usados em caixas de elevadores e escadas, muros de suporte e em paredes resistentes. A montagem in situ consiste no escoramento dos mesmos, na selagem das juntas, na aplicação da armadura descrita no projeto, no tratamento das juntas e finalmente os

pormenores finais como rebocos ou pinturas.

Já os painéis de revestimento podem ser utilizados em fachadas de edifícios residenciais, comerciais ou industriais (figura 87) e podem ser do tipo Sandwich ou painel simples. Os primeiros consistem em dois painéis exteriores em betão armado envolvendo um painel de material isolante, geralmente poliestireno expandido. Os segundos tratam-se de um painel simples em betão armado. Ambos podem ser fabricados com diferentes dimensões e espessuras, conforme o projeto base e exigências do cliente.

Os sistemas de fixação dos painéis de revestimento à estrutura são definidos durante o dimensionamento dos mesmos, mas, geralmente, são utilizados sistemas de ligação metálicos.



Figura 86: Estrutura executada com painéis estruturais  
([http://www.farcimar.pt/image\\_temp/949X712\\_589X292\\_cr\\_op\\_0133ded6685a509e5dcbc32e84c3060a.jpg](http://www.farcimar.pt/image_temp/949X712_589X292_cr_op_0133ded6685a509e5dcbc32e84c3060a.jpg))



Figura 87: Estrutura executada com painéis de revestimento  
([http://www.farcimar.pt/image\\_temp/870X300\\_589X292\\_cr\\_op\\_91aba0687aa9905af4aeeb0103268364.jpg](http://www.farcimar.pt/image_temp/870X300_589X292_cr_op_91aba0687aa9905af4aeeb0103268364.jpg))

Atualmente, as empresas investem cada vez mais neste tipo de pré-fabricado devido à sua praticabilidade e características e é já possível obter cada vez mais diversidade de acabamentos, tornando-se num material com boa aparência e esteticamente agradável à vista.

Apesar de ser bastante comum a aplicação dos painéis na sua forma natural, como betão à vista, existem diferentes tipos de acabamentos que podem ser aplicados.

Os painéis podem ser texturados (figura 88), como que a aparentar pedra natural. Isto é conseguido através de uma limpeza com retardador de superfície ou a jato de areia. Quando se pretende uma aparência mais pesada pode ser utilizado o processo de lavagem da superfície com jato de água. Este método consiste na utilização de um retardador e, assim que o painel é removido do molde, é aplicada uma lavagem ao betão. A textura final obtida vai depender do tipo de agregado utilizado.

Outro tipo de acabamento possível é o acabamento com pigmento (figura 89), ou seja, podem ser coloridos e existe cada vez mais um leque variado de cores. Também usual é o seu revestimento com peças cerâmicas, tijolos ou pedra natural. O modo de fixação do revestimento ao painel varia consoante a dimensão de revestimento a aplicar.



Figura 88: Painel em betão branco texturado  
(<https://lh3.googleusercontent.com/proxy/LUmRhchrRh9DOV02c7Gyd-Kof2wUq9cV5gPgcJ0sCINPthugxCCQwHLAH1vUUZzApHRhR4DUiCHVrQ4K4871vFguzAstHxo-OvptKjPJDaARHDL7lfokw1BVjBbxC-zl6TBbc5xvRb1T2XDqYRUJ>)



Figura 89: Painel de betão pigmentado  
([https://static.dezeen.com/uploads/2020/07/red-concrete-house-by-sanden-hodnekvam-lillehammer\\_dezeen\\_2364\\_col\\_sq-411x411.jpg](https://static.dezeen.com/uploads/2020/07/red-concrete-house-by-sanden-hodnekvam-lillehammer_dezeen_2364_col_sq-411x411.jpg))

## Elementos porticados

Os elementos porticados, designados na língua inglesa de “*frames*”, são sistemas constituídos por elementos lineares tais como vigas e pilares, em que uma das dimensões é significativamente superior às outras duas.

As vigas podem ser simplesmente apoiadas entre pilares ou vigas contínuas apoiadas nos pilares. Estas estão sujeitas a esforços que se distribuem pelos pilares e daí até às fundações. Neste tipo de construção, devido à baixa resistência a cargas dinâmicas, como sismo ou vento, as armações necessitam de elementos de resistência a cargas laterais. Existem então 3 tipos de sistemas laterais que podem ser aplicados, nomeadamente as armações escoradas ou atirantadas, as armações rígidas e as paredes de corte (figura 91).

Nas armações atirantadas, a junção do pilar com a viga pode ser lateralmente contraventada com membros diagonais de aço (Smith, 2010), mais frequentemente dispostos em X, proporcionando uma estrutura rígida. As armações podem ser ligadas diretamente entre si através de parafusos e, na ligação

ao pilar, pode ser utilizada uma chapa de fixação que transfere os esforços entre os elementos. Assim, este sistema gera boa resistência a forças sísmicas e forças do vento, no entanto a sua utilização limita a possibilidade de futuras alterações e acaba por obstruir o campo de visão.

As estruturas rígidas conseguem suportar consideráveis cargas verticais devido às ligações rígidas entre os membros viga e pilar.

As ligações são concebidas para transmitir os movimentos resultantes das extremidades das vigas e as forças de corte para os pilares (Team, 2017) e podem ser do tipo “ligações de pinos”, as quais permitem a rotação livre dos membros, ou ligações fixas, que oferecem nenhuma capacidade de rotação e total contenção. Caso seja utilizada uma ligação de pinos e uma viga sofra uma rotação a partir de uma carga vertical, também os pilares sofrem essa rotação, permitindo que os membros mantenham as relações angulares durante a rotação (Team, 2017). Já nas ligações do tipo fixa, caso haja qualquer tipo de atuação de carga vertical, não existe rotação livre nas extremidades das vigas e estas mantêm-se rígidas, levando os pilares a sofrerem algum grau de flexão.

Finalmente, o sistema das paredes de corte consiste em preencher os espaços entre pilares e vigas. Na construção tradicional o preenchimento pode ser praticado com betão armado ou bloco, enquanto na construção pré-fabricada podem ser colocados painéis em compartimentos estruturais. Os painéis podem ser fixados às secções de aço por soldadura ou ligações aparafusadas ao longo dos bordos (Smith, 2010) e, para garantir a fixação do painel ao canto da viga e do pilar, preenche-se a ligação com argamassa.

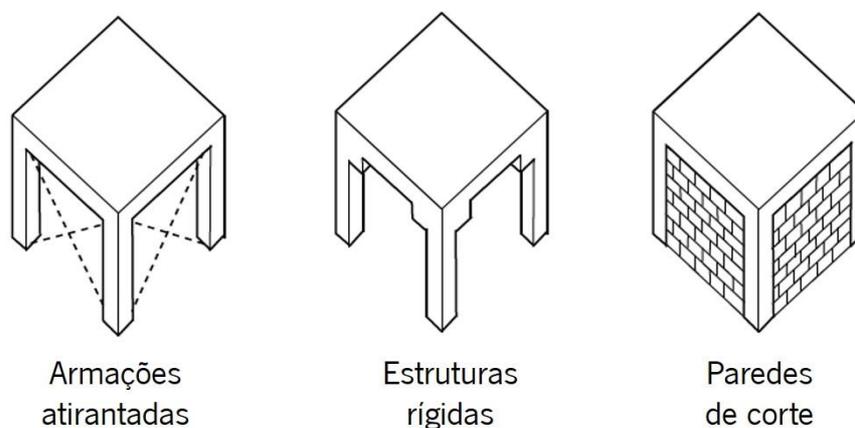


Figura 90: Três tipos de sistemas laterais  
(Retirado de (Smith, 2010))

É importante que o tipo de escoramento seja decidido ainda em fase de projeto uma vez que este tem uma grande influência nas funções dos espaços e na conceção da fachada (Staub et al., 2008).

No planeamento das “frames” é importante que o sistema estrutural e as uniões coincidam com os

sistemas de fachada e de encaixe, uma vez que as paredes envolventes não serão de carácter estrutural, mas de divisória, enchimento ou isolamento.

### “Light Steel Framing”

A construção pré-fabricada com “*light steel framing*” consiste, essencialmente, em estruturas de aço enformado a frio. Tratam-se então, tal como o nome indica, de perfis de aço moldados a frio e de baixa espessura unidos de modo a criar uma estrutura esqueleto de um edifício, definindo a sua forma e suportando-o.

Os perfis de aço utilizados são de aço galvanizado e resultam de um processo de moldagem a frio de chapas de aço galvanizado. O aço por si só, após o processo de moldagem, já mostra a devida resistência a cargas elevadas, no entanto o processo de galvanização adiciona-lhe a respetiva proteção contra as ações de corrosão.

Os perfis mais utilizados na construção com LSF são os perfis L, os perfis U ou os perfis C.

Os perfis L, ou cantoneiras (figura 91), funcionam como conexão dos perfis paralelamente uns aos outros ou como reforço das várias conexões.

Os perfis de secção C, EU ou montantes (figura 92), têm como função suportar as cargas do edifício e, portanto, são elementos estruturais. Podem ser utilizados na criação das lajes de cobertura e piso, em painéis exteriores e interiores.

Finalmente, os perfis com secção U, ou canais (figura 93), são usados para ligar as extremidades dos perfis EU (Gaspar, 2013), originando os painéis. Estes apenas têm como função a transmissão de esforços horizontais e não o suporte de cargas verticais.



Figura 91: Perfil de secção em L  
(<https://img.archiexpo.com/pt/images/ae/photo-mg/161927-14928441.jpg>)



Figura 92: Perfil de secção em C  
(<https://perfisa.pt/wp-content/uploads/perfis-em-c.jpg>)



Figura 93: Perfil de secção em U  
(<https://perfisa.pt/wp-content/uploads/Perfis-em-u.jpg>)

Uma vez que a armação em LSF se trata apenas de uma armação esqueleto é necessária a aplicação conjunta com outros materiais para que o produto final seja um edifício com elementos estruturais e não estruturais. Assim, a combinação pode ser com placas OSB ou placas de gesso cartonado.

As placas OSB, ou placas de partículas orientadas, são placas estruturais formadas por lamelas de madeira denominadas de *strand*. Este material pode ser aplicado, por exemplo, como base para pisos e paredes de edifícios residenciais, revestimentos para telhado, plataformas e estruturas de LSF. Não pode, no entanto, estar exposto às intempéries e, como tal, tem de ser revestido com um acabamento impermeável (Gaspar, 2013).

As placas de gesso cartonado, de carácter não estrutural, são geralmente aplicadas para o revestimento das LSF e no interior de edifícios. A sua fixação à estrutura dá-se através de aparafusamento ou de colagem direta a paredes de alvenaria de tijolo. Após a sua fixação são feitos os acabamentos finais (Gaspar, 2013), como a pintura.

Quanto a isolamento térmico e acústico o material mais utilizado é a lã mineral, mais especificamente a lã-de-rocha. Em comparação com outras opções existentes para isolamento, a lã-de-rocha permite o fluxo do ar, mantém a sua forma com o passar do tempo, não é tóxico nem provoca irritações, não absorve água devido à sua estrutura não capilar e é incombustível.

A utilização deste tipo de construção tem como vantagens a simplicidade do processo de fabrico, a grande relação entre resistência e peso, a facilidade de manuseamento e transporte, a flexibilidade, a trabalhabilidade e a compatibilidade com os outros materiais de construção.

A construção em LSF é habitualmente aplicada em edifícios de natureza industrial como fábricas, pontes, pavilhões ou edifícios com necessidade de grandes vãos livres. Atualmente começa a afirmar-se também a sua utilização em moradias unifamiliares (figura 94 e figura 95).



Figura 94: Estrutura executada em LSF



Figura 95: Revestimento da estrutura LSF com placas OSB

### Pórticos de madeira

O sistema de pórticos em madeira consiste na utilização de perfis leves de madeira contraventados com placas estruturais em OSB, constituídas por vigas e pilares.

Os elementos utilizados para a construção de estruturas de madeira são geralmente em madeira maciça (Staib et al., 2008) ou madeiras compósito, como é o caso das madeiras lameladas.

Nas construções com “*frames*” de madeira as fundações devem ser executadas em função do tipo de solo existente e das cargas de projeto (figura 96). Inicialmente efetua-se uma parede de fundação cuja função é a de elevar a estrutura para que não fique em contacto direto com o solo (Leite & Lahr, 2015). Aí são colocados os sistemas de saneamento e abastecimento de água e outro tipo de instalações.



Figura 96: Fundações de uma estrutura executada com “*frame*” de madeira  
([https://www.bakerstimber.co.uk/images/gallery/gallery\\_timberframebasewithfacingoffdeckinginthebuildingcolour\\_1516954890.jpg](https://www.bakerstimber.co.uk/images/gallery/gallery_timberframebasewithfacingoffdeckinginthebuildingcolour_1516954890.jpg))

De seguida, é construída uma laje acima das paredes de fundação que dará continuidade à construção. As lajes tratam-se de chapas OSB apoiadas sobre vigas em madeira de secção I ou retangulares. As chapas OSB têm assim a função de contra piso e as vigas de secção em I proporcionam pisos leves e eficientes, que resistem aos esforços de flexão decorrentes das ações de peso próprio e acidentais (Leite & Lahr, 2015).

As paredes consistem em painéis OSB dispostos numa estrutura de montantes verticais de madeira e as ligações entre ambos os elementos são efetuados através de parafusos galvanizados. As paredes servirão como apoio para os pisos seguintes e para transmissão, aos pisos inferiores e fundações, dos esforços resultantes dos montantes. Em caso de necessidade de aberturas para janelas ou portas, os montantes devem apenas ser deslocados lateralmente, mas não eliminados.

Quanto a revestimentos, geralmente são aplicados tanto em paredes exteriores como interiores. As paredes externas podem ser revestidas com placas cimentícias ou de aço e, à semelhança do método LSF, o revestimento interior pode ser assegurado através da utilização de mantas de lã de rocha.

De modo a aumentar a rigidez dos elementos de uma estrutura é aplicado um sistema de ligação entre os seus elementos principais, também designado por sistema de contraventamento, que consiste na fixação de placas OSB nas faces externas das paredes (Molina & Junior, 2010).

Finalmente, o telhado é constituído por treliças industrializadas de madeira, posicionadas sobre as paredes do último piso do edifício.

Este tipo construtivo é aplicado sobretudo em moradias unifamiliares (figura 97).



Figura 97: Estrutura executada com “frame” de madeira  
(<https://i.pinimg.com/originals/8f/af/04/8faf046b0f36ac2ddb12fb5a6c07903.jpg>)

Como se trata de um sistema de pré-fabricação e industrialização existem duas variantes de método de construção nas estruturas feitas com “frames” de madeira. Estas duas variantes definem como é realizada a ligação entre os painéis horizontais das lajes e os painéis verticais das paredes, e designam-se por “Ballon Frame” e “Platform Frame” (figura 98).

Na primeira variante, os montantes verticais podem ter uma extensão desde o piso térreo até à cobertura, ou seja, correm toda a extensão da estrutura e as vigas de piso são fixas aos montantes verticais.

A segunda variante consiste em erigir primeiro as paredes e de seguida fixar as lajes por cima destas, sendo as cargas transmitidas para os pisos inferiores por intermédio das lajes (Gaspar, 2013), e assim sucessivamente. Tanto as paredes como as lajes de piso são montadas como elementos independentes. As estruturas de “frames” de madeira apresentam grande resistência a ações dinâmicas como os sismos ou vento devido à rigidez dos pisos e das paredes. Para além do elevado desempenho estrutural, trata-

se de um método de construção sustentável, rápido, de custos reduzidos, com grandes controlos de qualidade e bons comportamentos térmicos e acústicos.

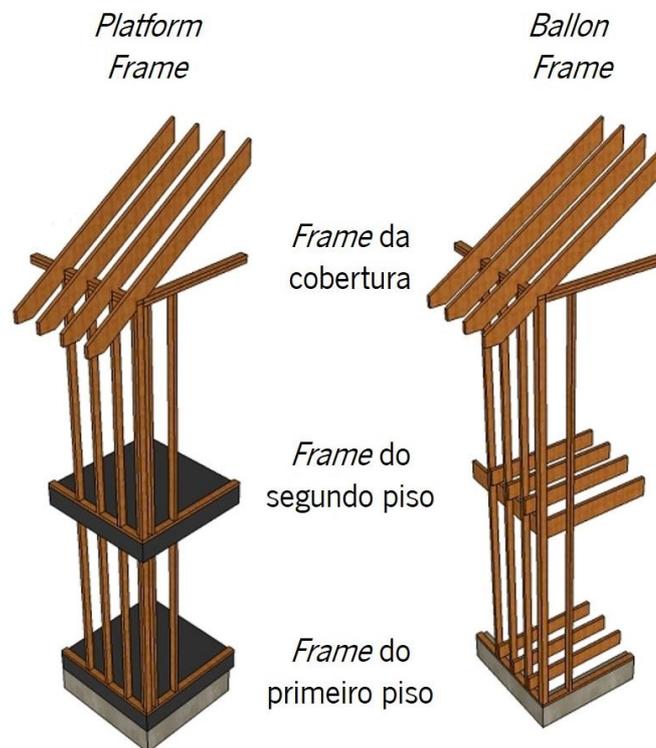


Figura 98: Tipos de “frames”

(<https://i.pinimg.com/originals/52/f4/6b/52f46b108172489b09314c8eace3f3a6.png>)

### “Frames” de betão armado

As “frames” de betão armado consistem na utilização de pilares, vigas, paredes e lajes em betão armado pré-fabricado.

Tal como acontece nos outros sistemas, as cargas resultantes das vigas, lajes ou coberturas são transferidas através dos pilares até às fundações.

Estas peças são produzidas, individualmente, num molde metálico de dimensões pré-determinadas.

As vigas são elementos horizontais com função de suporte de elementos horizontais adjacentes, tais como lajes de piso e coberturas ou outras vigas, e suporte de elementos verticais assentes sobre elas, como paredes ou pilares (Magalhães, 2013).

As vigas pré-fabricadas têm habitualmente secção geométrica variável, sendo as mais comuns as secções em I, secções em T ou secções retangulares (figura 26), e podem apresentar variadas dimensões, desde que tal não interfira no processo de carregamento e transporte para o local de obra.

Estas podem também ser reforçadas com armaduras ou cabos de pré-esforço, e a escolha do reforço depende das condições dos apoios e da dimensão dos vãos.

Após a montagem das vigas em obra deve proceder-se a uma betonagem complementar de modo a assegurar um comportamento estrutural mais próximo do monolítico.

Os pilares são elementos horizontais que transportam as cargas resultantes das vigas e das lajes até às fundações. Podem ser pré-fabricados como elementos individuais e ligados depois *in-situ* resultando, no final, num pilar único ou podem ser pré-fabricados como elementos longos e aplicados *in-situ* como um elemento único (Magalhães, 2013).

Apesar de exequível a execução de pilares com grandes dimensões, que levaria à diminuição do número de ligações a efetuar posteriormente *in-situ*, esta torna-se uma característica não vantajosa, uma vez que condiciona o seu manuseamento durante todo o processo construtivo. Assim, as dimensões e geometria dos pilares dependem não só do cumprimento das necessidades estruturais e arquitetónicas, mas também dos modos de fabrico, transporte, elevação e montagem.

Os pilares pré-fabricados (figura 99), quando necessário, podem acomodar pequenas consolas para colocação de redes de água, eletricidade ou gás comprimido ou então para colocação de infraestruturas aéreas.



Figura 99: Pilares pré-fabricados  
([https://img.archiexpo.com/images\\_ae/photo-g/89366-7437385.webp](https://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/89366-7437385.webp))

As lajes são elementos horizontais cuja função é resistir a cargas gravíticas que sobre elas atuam, incluindo o seu peso próprio, e a cargas horizontais resultantes de ações dinâmicas como sismo e vento. As dimensões e o tipo de laje pré-fabricada dependem, essencialmente, do vão a vencer e das cargas atuantes. Como elemento principal de uma estrutura condicionam as soluções dos restantes elementos estruturais dos elementos estruturais que as suportam (Magalhães, 2013), nomeadamente pilares e vigas.

As lajes pré-fabricadas (figura 100), devido à largura máxima de transporte e à armadura resistente unidirecional, acabam por ser produzidas com dimensões distintas nas duas direções, o que obriga a elaborar sistemas de ligação, aumentando a complexidade e tempo de execução em obra e gerando um aumento de custos (Magalhães, 2013).



Figura 100: Estrutura executada com “frame” de betão pré-fabricado  
([https://img.edilportale.com/product-thumbs/b\\_prodotti-86905-rel24078a04b5574693abc1b358e14d4bf1.jpg](https://img.edilportale.com/product-thumbs/b_prodotti-86905-rel24078a04b5574693abc1b358e14d4bf1.jpg))

### **2.3.5. Processo de montagem**

A montagem consiste no ato de colocação das submontagens na sua localização final e na junção das mesmas de modo a criar uma estrutura global. As submontagens podem ser definidas como o conjunto de módulos, painéis ou componentes que posteriormente serão unidos através de elementos de ligação e montados *in-situ*.

Como já foi referido diversas vezes ao longo da presente dissertação, a fabricação de componentes, painéis ou módulos em fábricas permitem que a montagem das mesmas no local seja realizada de forma rápida e simples, no entanto, quando as edificações não são padronizadas, é necessário estabelecer as peças e respetivos métodos de ligação, o que pode ser moroso e trabalhoso. É também de extrema importância que as equipas integrantes do projeto estejam em consonância pois as decisões relativas à montagem são tomadas durante as fases iniciais e de planeamento do projeto.

De modo a tirar o máximo proveito dos benefícios da construção pré-fabricada deve ser realizado o máximo de trabalho de montagem em fábrica e apenas o necessário no local de obra. A redução do

número de intervenções de montagem no local reduz o tempo e o custo de montagem e leva também a uma diminuição de potenciais falhas. Aquando do ato de assemblagem dos componentes é imprescindível o envolvimento das equipas de projeto, que devem conferir o trabalho dos fabricantes e trabalhadores.

Na assemblagem dos componentes é importante considerar diversos princípios logísticos, tais como a minimização dos elementos, o manuseamento e a deteção de quaisquer conflitos.

A minimização dos elementos não se refere à dimensão dos mesmos, mas à limitação do número de elementos a serem enviados e montados no local de obra, reduzindo o trabalho de montagem e o número de juntas. Os elementos não devem ser fabricados com dimensões e peso que impeçam o transporte ou o içamento dos mesmos para a localização final.

De modo a evitar erros na fase inicial da fabricação devem ser realizadas simulações de sequenciamento de construção com recurso às ferramentas BIM. A realização de simulações de projeto com BIM antecipa potenciais conflitos que, na construção pré-fabricada, são geralmente entre os elementos pré-fabricados e elementos pré-existentes ou construídos no local de obra.

Embora a pré-fabricação permita que certa parte da assemblagem seja feita em fábrica, a ação dos agentes climáticos pode interferir e criar adversidades na assemblagem *in-situ*, caso disso são as estruturas de madeira laminada. Estas são fabricadas em condições climatizadas e depois enviadas para um local onde os níveis de temperatura e humidade variam dos da fábrica (Smith, 2010), podendo sofrer tensões que provocam folga entre os painéis ou módulos.

O mapeamento da sequência de construção pode ser realizado através de ferramentas digitais como o BIM no entanto deve haver sempre um certo nível de detalhamento na ordem em que os componentes serão montados.

## **Transporte**

O transporte (figura 101) é um dos fatores que mais influencia no design e nas características geométricas dos elementos. Para que o transporte seja exequível, os elementos são divididos, limitando o tamanho dos painéis, componentes ou módulos e alterando esteticamente a forma final.

Os elementos pré-fabricados chegam ao local de obra prontos para serem colocados. A sua montagem é regida por etapas como elevação ou içamento, posicionamento, ajuste, conexão e assemblagem final (Smith, 2010).

No processo de elevação é necessário garantir que os elementos são içados nos pontos de escolha (figura 102), ou seja, pontos de levantamento previamente selecionados que coincidem com a

distribuição de peso do elemento. Se não for assegurado um correto manuseamento dos elementos durante a fase de elevação estes podem sofrer danos aumentando o custo para a reposição da peça.



Figura 101: Processo de transporte de painéis de betão ([https://www.mekaglobal.com/content/images/uploads/1024x768/3\\_1952.jpg](https://www.mekaglobal.com/content/images/uploads/1024x768/3_1952.jpg))



Figura 102: Processo de elevação de painéis de betão ([https://www.yourhome.gov.au/sites/default/files/2019-11/m-prec-panellifting\\_fmt%20cropped.jpg](https://www.yourhome.gov.au/sites/default/files/2019-11/m-prec-panellifting_fmt%20cropped.jpg))

## Tolerâncias

Os materiais, quando expostos a humidade ou diferenças de temperatura, podem apresentar um comportamento expansivo ou retrativo e por isso é importante a existência de tolerâncias que comportam as imprecisões de fabrico e instalação. No entanto, também podem existir tolerâncias para discrepâncias no material ou erro humano.

As tolerâncias podem ser de dois tipos, nomeadamente tolerâncias de subasseblagem ou tolerâncias de asseblagem. A primeira refere-se às tolerâncias existentes nas peças que constituem os componentes, painéis ou módulos ou originadas na fabricação e a segunda refere-se às tolerâncias resultantes do processo de colocação das subasseblagens no local.

A dimensão da tolerância é estabelecida pelas próprias associações industriais. A existência de tolerâncias é essencial não só para que a montagem seja mais fácil, mas também porque introduz uma forma de movimento no edifício. Assim, cada projeto deve ter as suas tolerâncias estabelecidas com base nas metas e resultados esperados, bem como cronograma, orçamento e disponibilidade de qualificação da mão de obra (Smith, 2010).

## Juntas

As juntas resultam do encontro das subasseblagens e têm como função a proteção acústica e o controlo térmico e de humidade. Estas devem ser protegidas das intempéries através de selantes ou por

sobreposição.

A utilização de selantes pode ser necessário para o controlo dos teores de humidade, no entanto devem ser estudados outros métodos de eliminação das juntas antes da aplicação de selantes químicos. As juntas podem ser reduzidas através de conexões aparafusadas, as quais permitem a desmontagem e posterior reciclagem.

A construção pré-fabricada permite a redução do número de juntas no sistema e por isso é menor a quantidade de trabalhos relativos a anexação e vedação, e conseqüentemente são menores os custos e o tempo de montagem no local.

A eliminação das juntas pode ser realizada através de mecanismos como o encaixe ajustável, encaixe deslizante, junta de topo e junta de bordo (figura 103).

No mecanismo do encaixe ajustável os elementos devem ser posicionados com precisão e por isso são projetados para que o alinhamento possa ser ajustado durante ou após montagem no local (Smith, 2010). Uma vez realizado o alinhamento é necessário protegê-lo através de conexões aparafusadas ou por solda.

No mecanismo de encaixe deslizante os elementos sobrepõem-se uns aos outros e são posicionados por deslizamento, acabando por preencher a lacuna.

A técnica da junta de topo é utilizada para unir elementos que se encontram em esquadria. A junta é uma sobreposição de dois elementos, colocados perpendicularmente.

Finalmente, o formato do bordo deve ser cuidadosamente considerado quando este se encontra exposto. Uma borda chanfrada, por exemplo, permite um maior desgaste enquanto uma borda afiada é suscetível a amassar. Assim, os cantos podem precisar de ser moldados e reforçados de maneira diferente dos outros elementos da assemblagem (Smith, 2010).

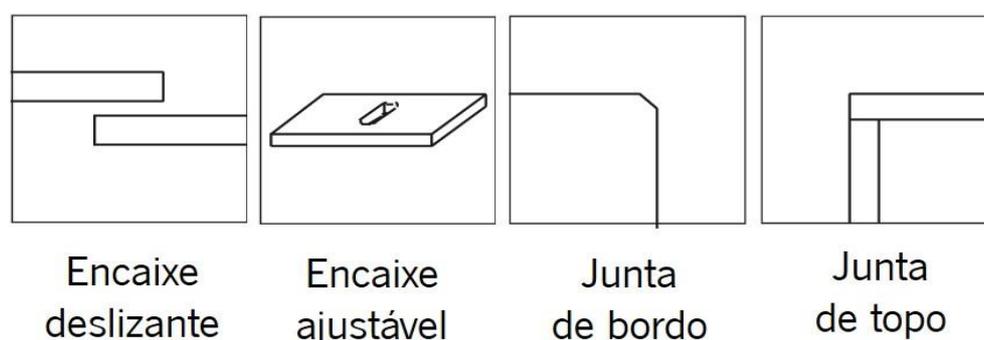


Figura 103: Tipos de juntas  
(Retirado de (Smith, 2010))

### **2.3.6. Exemplos de aplicação**

No presente capítulo serão mostrados alguns exemplos de edificações realizadas com as tipologias construtivas apresentadas no capítulo 2.3.4.

#### **Painéis em madeira CLT – Dalston Works, Londres, 2017**

O edifício Dalston Work (figura 105), localizado em Londres, é o maior edifício do mundo construído com madeira compósito CLT.

Esta edificação de 10 andares alberga 121 habitações residenciais e ainda mais de 3530 m<sup>2</sup> de área comercial, industrial e de restauração e, do seu tempo total de construção de 130 semanas, 52 foram para montagem dos painéis.

Excetuando o piso principal, que foi construído em betão armado, o resto do edifício é inteiramente construído com painéis CLT, desde os núcleos dos elevadores, às paredes e aos pisos (figura 104). Assim, o seu peso é cinco vezes mais leve do que uma estrutura de betão armado de características semelhantes, permitindo a criação adicional de 35 residências, o qual não seria possível com uma estrutura em betão armado.

Os painéis de laje de piso utilizados apresentam espessuras entre os 10 e os 20 centímetros e os painéis de parede, por sua vez mais finos, apresentam espessuras entre os 10 e os 15 centímetros. Interiormente, nos escritórios, as paredes foram deixadas com a madeira exposta enquanto nas habitações foram finalizadas com uma camada de gesso cartonado, servindo como proteção contra incêndio. Já exteriormente a madeira é protegida por uma camada de isolamento e revestida por uma fachada em tijolo. O tijolo é fixado através de suportes criados especificamente para o efeito, no entanto, com o receio de que o peso do tijolo pudesse esmagar a estrutura de CLT, foram abertos buracos na borda de cada deck de piso de CLT. Os buracos foram preenchidos com argamassa estrutural de modo a que fosse possível a transferência de cargas verticais dos painéis de parede superiores para os inferiores.



Figura 104: Estrutura do edifício Dalston Works  
(<https://waughthistleton.com/media/dalston-lane/1-485-PHO-07.jpg>)



Figura 105: Edifício Dalston Works finalizado  
([https://waughthistleton.com/media/\\_img/dalston-lane/internal-space\\_vL9bGDp.jpg.1200x800\\_q90.jpg](https://waughthistleton.com/media/_img/dalston-lane/internal-space_vL9bGDp.jpg.1200x800_q90.jpg))

### **Módulos volumétricos – Phoenix Court, Reino Unido, 2007**

O edifício Phoenix Court (figura 107) consiste numa residência universitária de 11 andares e é o primeiro a incorporar módulos volumétricos totalmente concebidos em aço laminado a frio em tal dimensão.

Os módulos apresentam diversas configurações, oferecendo desde quartos individuais com instalações como cozinha e casa de banho até apartamentos de 4 quartos com sala, cozinha e casa de banho compartilhados. Inclui ainda espaços como lavandaria, zona de estar comum, sala de estudo e sala de entretenimento.

As estruturas modulares encontram-se assentes numa plataforma de aço, criando uma espaço aberto que pode ser usado para estacionamento ou fins comerciais. Os módulos estão ainda assentes numa “*frame*” em aço, a qual permite estender a flexibilidade no planeamento do espaço em aplicações onde as restrições dimensionais dos sistemas modulares seriam de outra forma muito restritivas (Velamati, 2012).

Os módulos, quando transportados para o local, já se encontram completamente finalizados, ou seja, para além da parte estrutural, também as de isolamento, acabamento e decorativa são finalizadas na unidade fabril. O edifício é composto por 400 módulos de quarto, dos quais 100 são combinados de modo a formar estúdios maiores (figura 106). Os módulos de cozinha e de quarto apresentam dimensões

de 3.6 metros e 2.7 metros de largura externa, respetivamente.

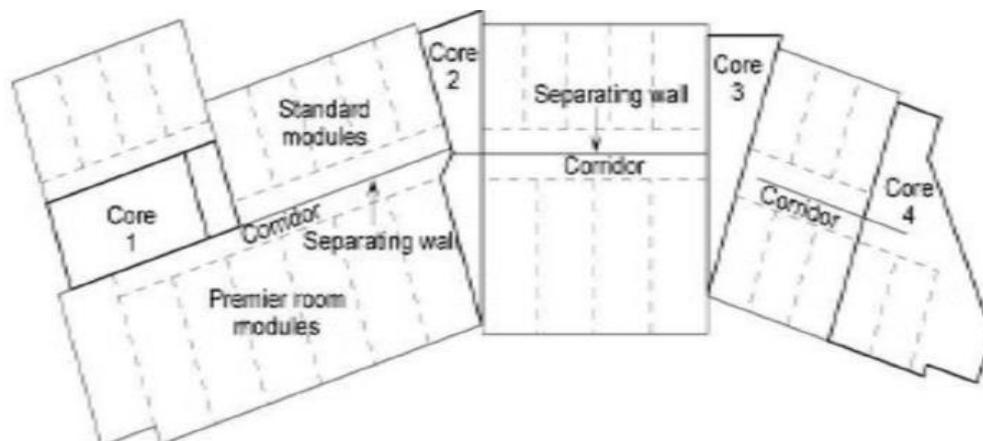


Figura 106: Planta do edifício *Phoenix Court*  
(Retirado de (Velamati, 2012))



Figura 107: Edifício *Phoenix Court* terminado  
([https://www.unitestudents.com/UniteStudents/media/Properties/Bristol/Phoenix-Court/brs\\_pc\\_ext\\_2654\\_jj.jpg](https://www.unitestudents.com/UniteStudents/media/Properties/Bristol/Phoenix-Court/brs_pc_ext_2654_jj.jpg))

### **“Frames” em LSF – Residência Universitária, Newcastle, 2017**

O presente edifício trata-se de uma residência universitária composta por 3 blocos de edifícios de diferentes alturas (figura 109).

A construção engloba 3 diferentes tipos de construção, sendo as “frames” em aço leve utilizadas no “esqueleto”, os painéis em aço leve para execução das paredes e utilizados também módulos de casa

de banho.

Inicialmente estava prevista a sua construção com *frames* de betão pré-fabricado no entanto, com a atual solução, foi possível uma redução dos carregamentos das estacas de fundação em até 40% em certas partes da estrutura (Lawson & Way, 2017).

O projeto é composto por 3 blocos de 7 (Bloco C), 10 (Bloco B) e 12 andares (Bloco A) ligados entre si, oferecendo 329 quartos, incluindo estúdios e quartos com zonas comuns partilhadas.

Os 3 blocos foram construídos em 7 meses pois as estruturas e os painéis foram elevados com recurso a 2 gruas torre, contudo tal só foi possível devido a um bom planeamento e logística de modo a maximizar a utilização das gruas e para garantir a segurança nas operações de descarga e elevação dos componentes (figura 108).

As lajes de piso, executadas em material compósito, são suportadas por paredes de aço leve e cada andar demorou cerca de 7 dias a ser erigido. Este tipo de piso providencia um elevado nível de isolamento acústico entre os pisos. À medida que cada andar ficava concluído eram colocados os módulos pré-fabricados de casa de banho.

O sistema do edifício consiste em vigas de secção C com 10 centímetros de comprimento e 7 centímetros de largura. Em todas as paredes de suporte dos pisos inferiores foi instalado um sistema de contraventamento diagonal para resistir às forças de corte provocadas pela ação do vento (Lawson & Way, 2017). Para uma estabilidade estrutural adicional foram utilizados núcleos de escadas em betão armado nos pisos inferiores dos blocos A e B.



Figura 108: Pormenor da construção do edifício  
(<https://www.barbourproductsearch.info/Newcastle-3-file086381.jpg>)



Figura 109: Edifício *Kingspan Newcastle* terminado  
(<https://www.barbourproductsearch.info/Newcastle-1-file086379.jpg>)

## 2.4. Aplicação do BIM na construção pré-fabricada

### 2.4.1. Definição e enquadramento geral

As aplicações CAD, introduzidas pela evolução da tecnologia e informática, revolucionaram o modo de representar e projetar edifícios tornando-se, comparativamente com os tradicionais projetos em papel, um método mais rápido e eficiente na elaboração dos desenhos e pormenores em formato 2D. A sua utilização foi tão bem-sucedida que rapidamente o desenho migrou para ambiente 3D, no qual os projetos se tornaram mais exigentes e complexos.

Com o desenvolvimento de novas ferramentas, metodologias e aplicações no mercado, existe a necessidade de descobrir como melhorar e adaptar as relações de trabalho entre as várias especialidades de projeto e entidades envolvidas nas diversas fases de construção (P. D. M. da Silva, 2012).

Um dos inconvenientes das ferramentas CAD era o facto de os desenhos serem guardados apenas com as informações básicas e por isso houve necessidade de desenvolver um modelo virtual onde são reunidas as informações e projetos de diversas especialidades e que permita a partilha dos mesmos entre os vários intervenientes e equipas.

O BIM – Building Information Modeling – foi então desenvolvido com o intuito de dar resposta às lacunas existentes nos modelos CAD (figura 110).



Figura 110: BIM - *Building Information Modeling*  
(<https://me23engenharia.com/wp-content/uploads/bim.png>)

Através da análise singular a cada palavra que compõem a sigla BIM – *Building Information Modeling* – é possível obter as seguintes definições.

O termo “*Building*” representa a construção ou o edifício. Nos sistemas BIM é dado ênfase principalmente à conceção e aos detalhes do edifício.

O termo “*Information*” corresponde à informação. Este é um dos aspetos mais importantes nos sistemas BIM uma vez que o BIM se fundamenta na troca de informações sobre materiais, instalações ou geometrias referentes aos modelos e ao respetivo armazenamento na base de dados.

O termo “*Modeling*” refere-se ao processo de modelação do edifício. A modelação é constituída não só pela modelação estrutural paramétrica, mas também pela modelação de objetos paramétricos.

Assim, BIM são softwares digitais onde é possível a criação de um modelo visual em 3D, o qual facilita a perceção do projeto final, e cuja base de dados é constituída por todos as variáveis a considerar na sua edificação e durante o ciclo de vida.

Num modelo BIM a informação encontra-se interligada por via de relações paramétricas, ou seja, as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização (V. F. de A. Lopes, 2015). Neste é também possível incorporar diversas especialidades como, por exemplo, análises estrutural, energética e de custos e o planeamento do processo construtivo.

A utilização do sistema BIM na indústria AEC permite aumentar a eficácia do setor da construção e reduzir o desperdício de recursos (V. F. de A. Lopes, 2015). As técnicas BIM permitem a realização de planeamento e gestão, quer de mão-de-obra, maquinaria, materiais, custos e tempos. Isto leva a que a obra fique concluída nos prazos estipulados e a que não haja deslize nos orçamentos.

Atualmente é possível obter modelos BIM mais complexos do que os das três dimensões onde, para

além da modelação, são adicionados fatores como tempo e custos (figura 111).

O BIM 4D consiste na adição do fator tempo ao CAD 3D, permitindo a coordenação total do edifício em projeto, ou seja, à modelação a três dimensões são combinadas as atividades necessárias para construir o edifício. A determinação dos tempos e duração das atividades baseia-se na temporização específica de cada atividade, na simulação de progressos e calendarização das tarefas. A utilização do BIM 4D ao longo de todo o processo permite a identificação de obstáculos nas fases iniciais do projeto e, caso haja alterações das atividades no decorrer da construção, permite identificar quais os impactes dessas alterações à calendarização final do projeto.

Ao BIM 4D pode ser acrescentada a dimensão dos custos, obtendo-se o BIM 5D. Através do conhecimento das quantidades de material relacionado a cada elemento construtivo é possível estimar o custo inteiro do projeto e a quantidade global de materiais. No modelo 5D é possível realizar uma compilação de dados relativos a custos para posterior desenvolvimento de planos de controle dos mesmos com as respetivas variações de preços, temporização e quantificação de tarefas.

Com BIM 6D é praticável a determinação da vertente sustentável do edifício, ou seja, é possível realizar a análise energética, o ciclo de vida e o impacto ambiental provocado.

Finalmente, o BIM 7D permite a gestão dos equipamentos e das instalações ao longo da vida útil dos mesmos.



Figura 111: Diversas dimensões do BIM

(<https://i.pinimg.com/474x/c0/97/2e/c0972e3bafbbc75fee1949741146d8b.jpg>)

Uma das vantagens da plataforma BIM é justamente a possibilidade de modelação e detalhamento dos objetos ao pormenor. Quanto maior o nível de detalhamento, mais pesada e complexa será a manipulação do modelo. Assim, houve a necessidade de introduzir o conceito de LOD – “*Level of Development*” (Nível de desenvolvimento) (figura 112), cuja função é a quantificação do nível de

detalhamento dos elementos constituintes do projeto, o qual deve ser definido no início de projeto de acordo com os níveis de detalhamento exigidos na execução da obra.

O LOD 100 é o nível de desenvolvimento mais simples. Os elementos não são representados através da sua forma ou tamanho, mas por símbolos ou graficamente.

No LOD 200, segundo nível de desenvolvimento, os componentes já apresentam uma forma aproximada, relativamente a tamanho, forma orientação e localização, sendo possível a identificação do elemento que representam e podem ser adicionadas informações não gráficas.

No LOD 300 os elementos já se encontram localizados com precisão relativamente ao ponto de origem do projeto e características como tamanho, forma, orientação, localização e quantidade podem ser medidos diretamente do projeto.

No LOD 350 existe interação entre os sistemas existentes, ou seja, o elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou conjunto específico em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas de construção (Darós, 2019).

No nível de desenvolvimento 400, a modelação dos elementos é realizada com precisão e detalhes suficientes para a sua fabricação. É comumente utilizado por empreiteiros e fabricantes uma vez que os elementos contêm informações bastante pormenorizadas. Características como tamanho, forma, orientação, localização e quantidade podem ser medidos diretamente do projeto.

Finalmente, o LOD 500 corresponde a modelo com representação fidedigna da realidade em termos de quantidade, localização, orientação, forma e dimensão. Por ser tão detalhado tem informações suficientes para suportar ações de manutenção e operação das instalações e dos serviços do edifício.

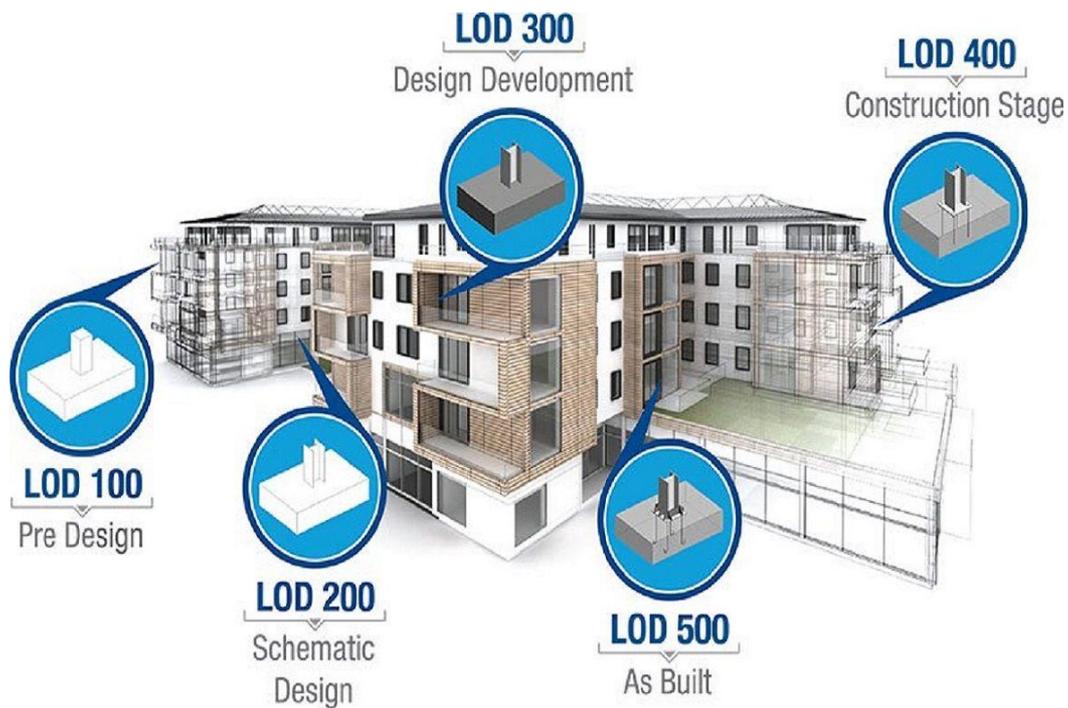


Figura 112: Nível de desenvolvimento (LOD) em ambiente BIM  
(<https://daudt.eng.br/wp-content/uploads/2020/06/WhatsApp-Image-2020-06-24-at-10.46.12.jpeg>)

#### 2.4.2. BIM aplicado à construção pré-fabricada

O BIM pode ser aplicado durante 3 fases da obra, ou seja, pode ser aplicado no planeamento/pré-construção, durante a fase de construção e no pós-construção (figura 113).

Na fase de planeamento são analisados os espaços constituintes do edifício. Podem ser representados todos os componentes da construção, que são automaticamente atualizados caso haja uma alteração ao longo do trabalho, e as respetivas conexões necessárias para definição do processo construtivo.

Nesta fase o modelo acaba por ser decisivo para fabricantes e consultores pois é exigido um certo nível de detalhamento das peças para se proceder ao fabrico das mesmas. É também possível criar simulações que mostram a sequência do processo construtivo, criar metas para o mesmo e obter estimativas de custos e de quantidades, por exemplo relativas a mão-de-obra, maquinaria ou materiais. Além disso, é possível entender a compatibilidade entre as diferentes especialidades e de que modo podem ser instaladas de forma a não criarem conflitos e também perceber o ciclo de vida do edifício no seu global ou apenas dos componentes.

Durante o processo de construção o sistema BIM pode ser utilizado para perceber quais as instalações que já se encontram instaladas e quais são necessárias fabricar e coordenar prazos e custos para a execução das mesmas. Caso haja alguma anomalia em alguns dos trabalhos a executar e seja necessário alterar o prazo do mesmo, todos os prazos das tarefas seguintes serão automaticamente atualizados e

é possível prever quais os tempos de atraso e custos associados.

Na fase final, na fase de pós-construção, o BIM serve como elemento de controlo e manutenção dos componentes e do edifício. Assim, poderá ser necessária uma reavaliação e atualização do modelo 3D. A manutenção de instalações elétricas ou de AVAC podem ser realizadas e calendarizadas através do modelo virtual.

É então possível concluir que é fundamental a aplicação do sistema BIM nas 3 fases de uma obra.

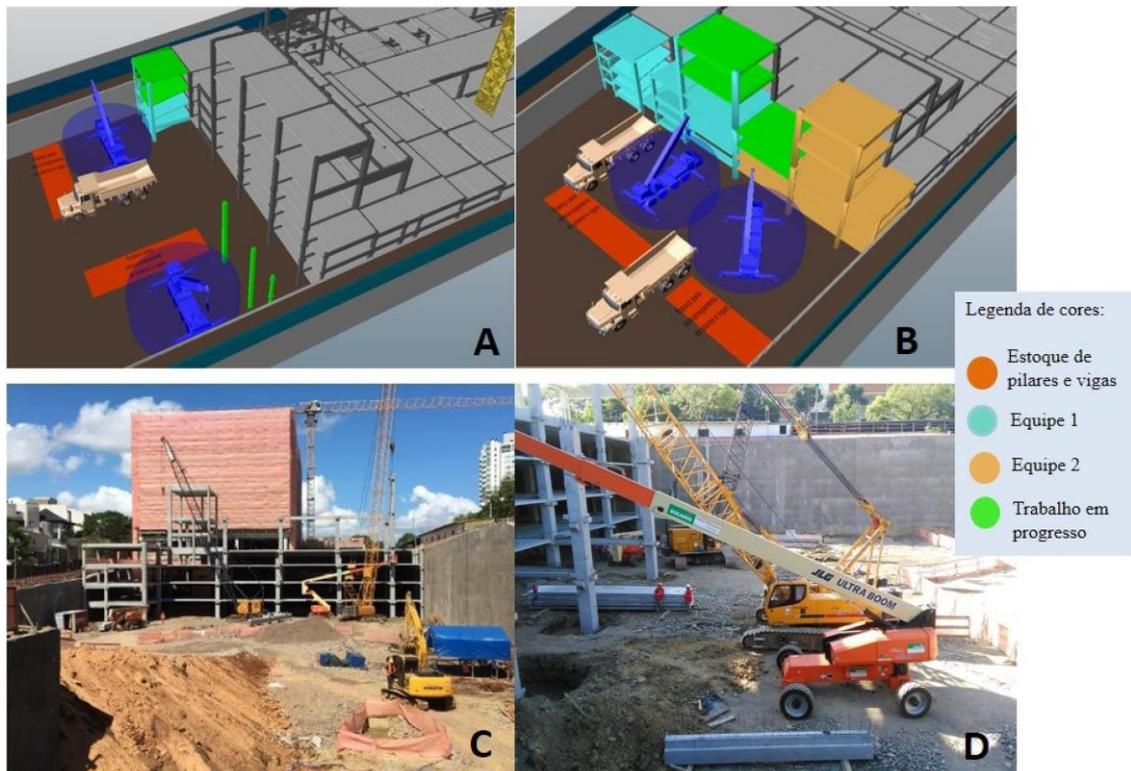


Figura 113: Exemplo da aplicação do BIM 4D na construção  
(<https://www.scielo.br/img/revistas/ac/v18n1//1678-8621-ac-18-01-0173-gf05.jpg>)

## **CAPÍTULO 3. PROJETO DE MODULARIZAÇÃO DE UNIDADE HOTELEIRA**

### **3.1. Enquadramento geral**

A construção modular pode ser um dos motores para impulsionar o setor numa tendência de crescimento e afirmação enquanto indústria produtiva, racionalizada, sustentável e competitiva, ultrapassando desafios e exigências atuais.

O objetivo desta dissertação é mostrar que a construção modular pode ser tão ou mais vantajosa e versátil que a construção tradicional e, para tal, será utilizado um projeto de construção tradicional como estudo de caso. O projeto em causa terá de ser um projeto de construção tradicional com potencial para a sua modularização, ou seja, uma construção de média dimensão e com uma certa repetição das tipologias habitacionais. Para o presente caso de estudo foi selecionado um edifício hoteleiro de 7 andares, o qual irá ser construído em Santo Tirso. O projeto selecionado compreende um edifício que agrupa tanto hotel como habitação familiar. Para a presente dissertação será apenas analisada a parte do hotel uma vez que esta apresenta espaço mais regulares, semelhantes e com maior apetência para a modularização e o processo de modularização será principalmente focalizado nos pisos onde existem alojamentos.

De notar que, por este projeto se tratar de uma tentativa de transformação de um projeto de construção tradicional num projeto de construção modular, poderá não seguir normativas de dimensionamento e o processo construtivo de um projeto de construção modular convencional. É intuito deste trabalho abordar a modularização mais de um ponto de vista conceptual, no entanto não descurando os aspetos técnicos relevantes, mas sem se realizar um dimensionamento rigoroso.

Uma vez que a construção modular se caracteriza pela normalização dimensional, repetição e uniformização de processos e materiais, com vista à melhoria e eficiência produtiva, o presente trabalho consiste na elaboração de um módulo de quarto da referida unidade hoteleira que respeite todos os requisitos impostos pelo projeto inicial. Para além disto, o módulo deverá ser de forma volumétrica, pensado para a inclusão, em fábrica, das especialidades técnicas.

### **3.2. Projeto de construção *in-situ***

Designa-se como projeto corrente o projeto original cuja estrutura se trata de uma estrutura porticada em betão armado, ou seja, estruturalmente é composta por vigas e pilares em betão armado e lajes fungiformes. Apesar de ser mais moroso, este tipo de construção é o mais usual em Portugal devido ao bom comportamento mecânico, à flexibilidade de arquitetura e, sobretudo, à falta de conhecimento e

pouca recetividade à inclusão de outros métodos construtivos, levando a escassez de mão-de-obra especializada.

O projeto de construção *in-situ* diz respeito a uma unidade hoteleira conjunta a uma unidade residencial, situada em Santo Tirso e a sua análise será quanto ao projeto de arquitetura e ao projeto estrutural.

### **3.2.1. Projeto de arquitetura**

O edifício em estudo é uma unidade hoteleira, situada em Santo Tirso, conforme previamente enunciado, e é dotada de arquitetura simples e comum, com espaços uniformes e regulares e de geometria praticamente retangular. Este apresenta 7 pisos com a seguinte organização:

- Pisos -2 e -1: zonas de arrumos, áreas técnicas e estacionamento; (ver anexos A.1. e A.2.)
- Piso 0: piso principal do hotel, onde se insere a receção, o espaço de refeições e respetiva copa, o lobby, zonas de armazém e vestuários e também alguns espaços de alojamento, nomeadamente 6 quartos; (ver anexo A.3.).
- Pisos 1, 2, 3 e 4: pisos maioritariamente de alojamento, nomeadamente, 17 alojamentos por piso. (ver anexos A.4. e A.5.)

#### **Constituição dos pisos de estudo**

Na Figura 114 encontra-se indicada a referenciação dos distintos alojamentos que aparecem dos pisos 1 a 4. De salientar que as plantas dos pisos são praticamente idênticas, havendo apenas uma ligeira diferença ao nível da localização dos vãos exteriores, nomeadamente nas duas fachadas viradas a nascente e sul.



Figura 114: Numeração dos alojamentos dos pisos 1 a 4

Através de uma análise inicial é possível notar que os quartos são de arquitetura regular, maioritariamente dispostos de maneira simétrica, aproximando-se a uma forma retangular (Figura 115), e com organização espacial idêntica pelos diferentes pisos. No entanto, existem 2 quartos (designados pelas letras I (figura 117) e J (figura 116)) com um design diferente dos restantes 17 e que irão merecer posteriormente uma análise mais individualizada. De realçar também que todos os pisos apresentam um núcleo central composto por uma caixa de escadas e duas caixas de elevadores e, aquando da modularização, a sua disposição relativamente ao projeto inicial não será alterada relativamente à solução estrutural do projeto inicial, nomeadamente por se tratarem de elementos de elevada importância quer estrutural ao nível da rigidez transversal e torsional, quer do ponto de vista do seu funcionamento arquitetónico.

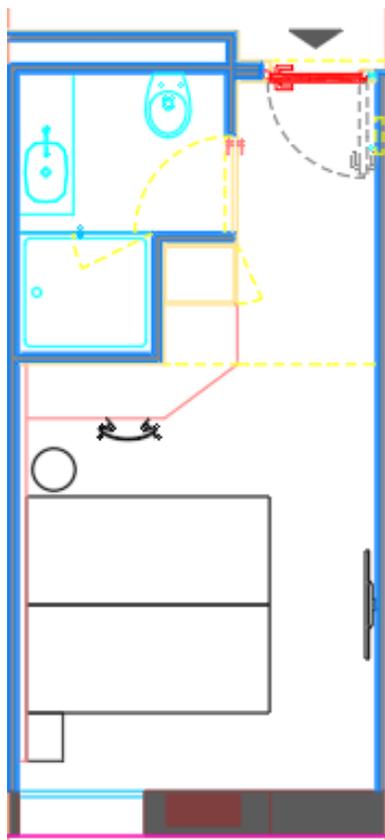


Figura 115: Tipologia de quarto mais comum

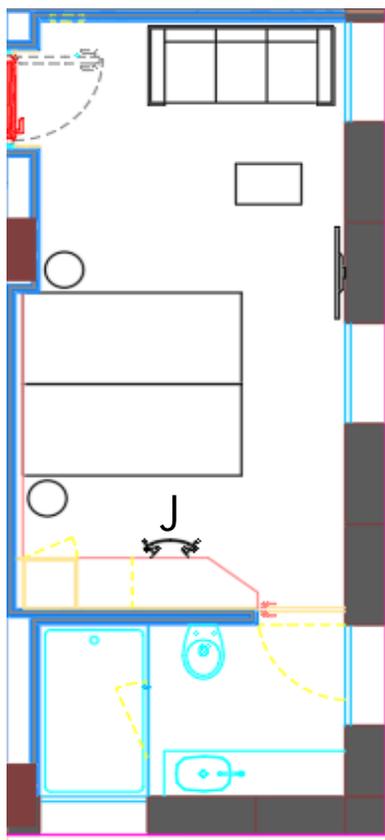


Figura 116: Alojamento J

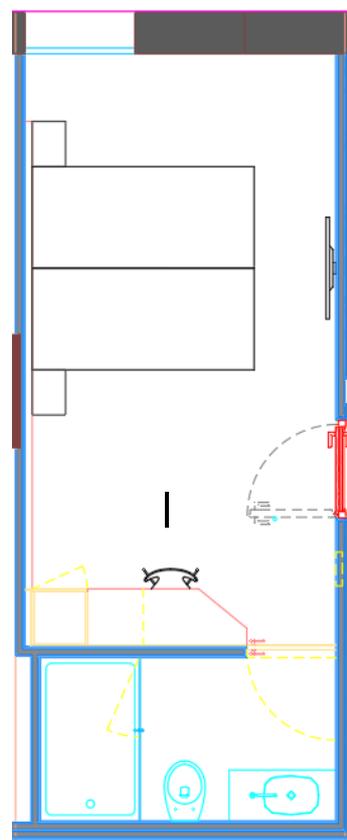


Figura 117: Alojamento I

Tal como referido anteriormente, os pisos 1, 2, 3 e 4 apresentam 17 quartos cada. O comprimento total dos mesmos varia entre os 5,24 m e 7,15 m e a largura varia entre os 2,80 m e os 3,01 m. Já as casas de banho têm comprimento compreendido entre 2,25 m e 2,92 m e largura compreendida entre 1,52 m e 1,70 m (tabela 1).

Tabela 1: Dimensões dos espaços dos alojamentos

Alojamento	Dimensões do quarto		Dimensões do WC	
	Comprimento (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Largura (m)
<b>A</b>	7,15	2,94	2,92	1,70
<b>B</b>	7,15	2,94	2,51	1,70
<b>C</b>	5,90	2,94	2,92	1,70
<b>D</b>	5,90	2,94	2,32	1,70
<b>E</b>	5,90	2,94	2,32	1,70
<b>F</b>	5,90	2,94	2,32	1,70
<b>G</b>	5,90	2,94	2,32	1,70
<b>H</b>	5,90	2,94	2,25	1,70
<b>I</b>	5,77	3,01	2,80	1,69
<b>J</b>	5,24	2,80	2,66	1,52
<b>K</b>	6,80	2,80	2,44	1,66
<b>L</b>	6,80	2,80	2,51	1,66
<b>M</b>	6,80	2,80	2,51	1,66
<b>N</b>	6,80	2,80	2,90	1,66
<b>O</b>	6,26	2,80	2,90	1,66
<b>P</b>	6,26	2,80	2,32	1,60
<b>Q</b>	6,26	2,80	2,32	1,60

### Soluções e materiais de revestimento

Os alojamentos são todos compostos, no mínimo, por uma parede de fachada e as restantes são paredes divisórias. De modo a simplificar o processo de descrição dos diferentes tipos de paredes, estas serão designadas por paredes de fachada do tipo 1, tipo 2, tipo 3, paredes divisórias, que fazem a divisão entre os diferentes quartos de hotel, e paredes interiores, cuja função é a divisão das áreas de quarto e casa de banho.

A parede de fachada tipo 1 (figura 118) é composta pelos seguintes elementos:

1. Tijolo com 20 cm de espessura;
2. Caixa-de-ar com 6,5 cm de espessura;

3. Um painel de gesso cartonado com 10 mm de espessura;
4. Lã de rocha com 50 mm de espessura, para efeitos de isolamento;
5. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura total de 25 mm, para acabamento interior.

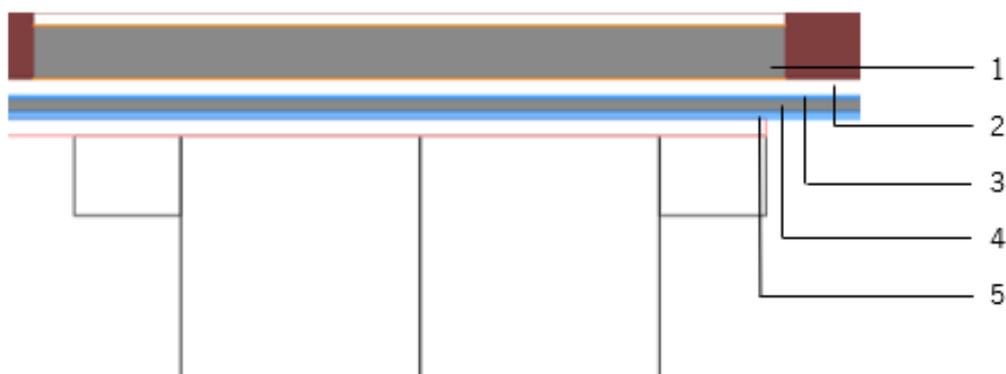


Figura 118: Constituição da parede de fachada tipo 1

A parede de fachada tipo 2 (figura 119) é constituída pelos seguintes materiais:

1. Tijolo com 15 cm de espessura;
2. Dupla placa de gesso cartonado com 10 mm de espessura cada;
3. Lã de rocha com 50 mm de espessura, para efeitos de isolamento;
4. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura total de 25 mm, para acabamento interior.

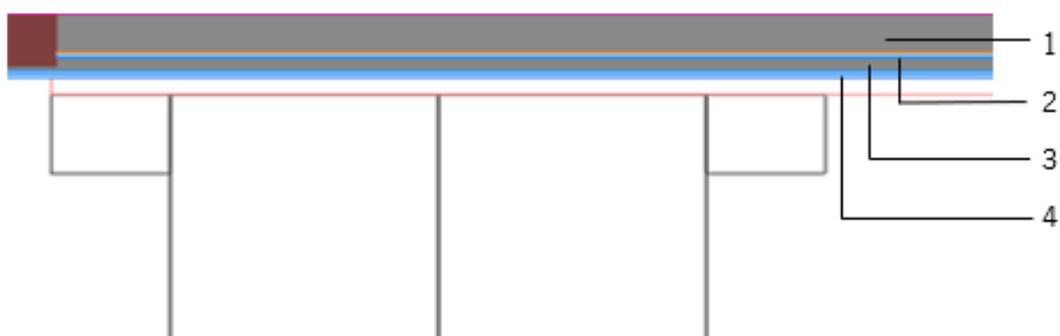


Figura 119: Constituição da parede de fachada tipo 2

A parede de fachada tipo 3 (figura 120) consiste numa combinação de:

1. Painel de betão pré-fabricado com 10 cm de espessura como acabamento exterior;
2. Placa de XPS com 80 mm de espessura, para efeitos de isolamento;
3. Caixa de ar com 10 cm de espessura;
4. Lã de rocha de alta densidade com 70 mm de espessura;

5. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura total de 25 mm, para acabamento interior.

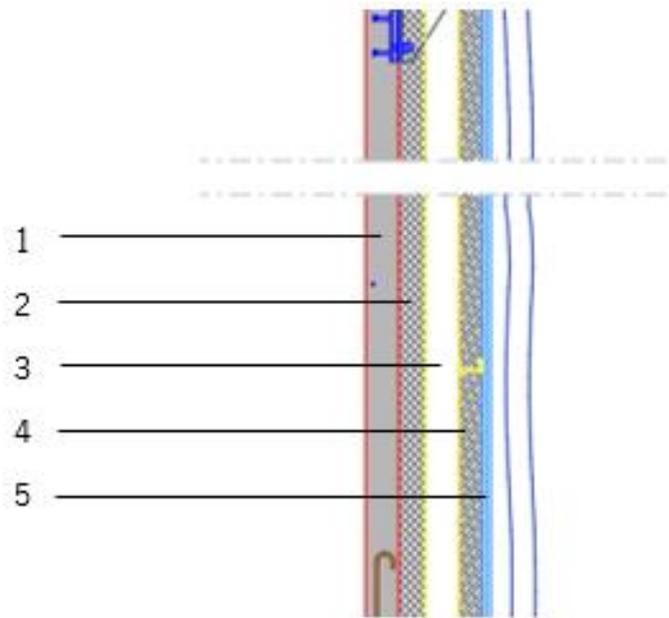


Figura 120: Constituição da parede de fachada tipo 3

Na figura 121 apresentam-se as paredes divisórias entre dois alojamentos contíguos, que são compostas pelos seguintes elementos:

1. Placa de gesso cartonado com 10 mm de espessura;
2. Lã de rocha, para efeitos de isolamento, com 50 mm de espessura;
3. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura total de 25 mm, para acabamento interior.

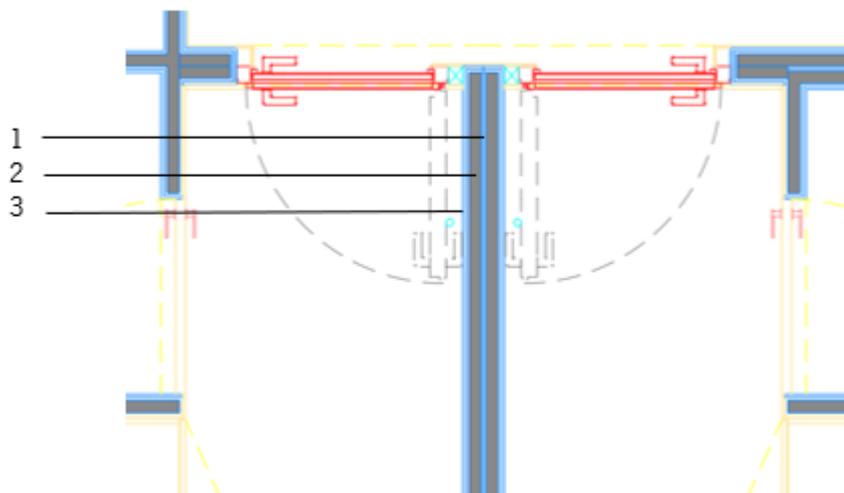


Figura 121: Composição da parede divisória

Finalmente, as paredes interiores são apresentadas na figura 122 e são compostas por:

1. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura total de 25 mm, para acabamento interior da casa de banho;
2. Lã de rocha, para efeitos de isolamento, com 50 mm de espessura;
3. Placa de gesso cartonado, com espessura de 12,5 mm;
4. Painel de madeira, com espessura total de 12,5 mm, como acabamento de parede de quarto.

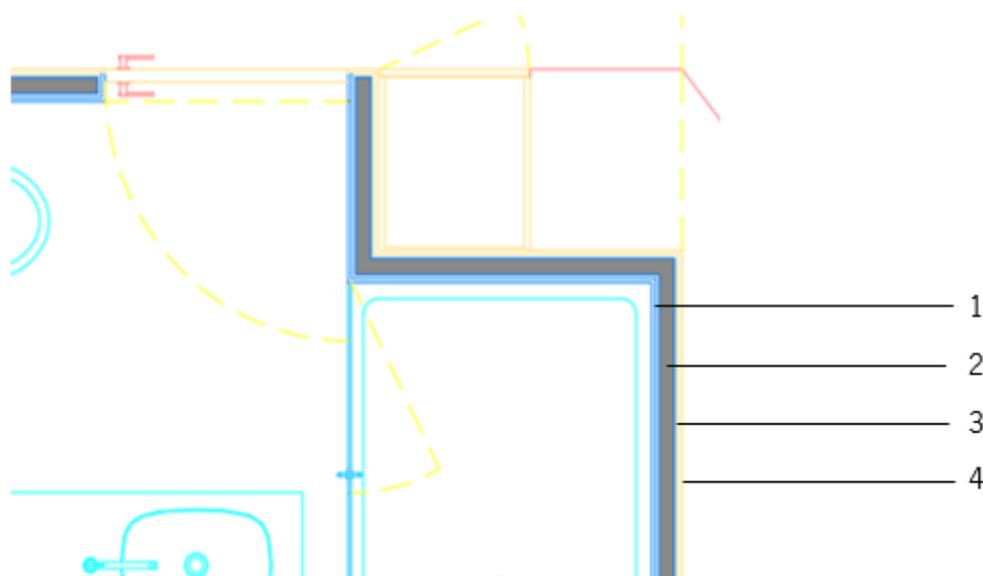


Figura 122: Composição da parede interior

Os alojamentos A e C são compostos por duas paredes de fachada, nomeadamente de tipo 1 e tipo 3, e por paredes divisórias. Os alojamentos N e O são delimitados por paredes de fachada do tipo 2, tipo 3 e por paredes divisórias. Os restantes alojamentos estão confinados por paredes de fachada do tipo 3 e paredes divisórias.

Por se tratar de um projeto de construção tradicional, o piso dos quartos do edifício é composto por (figura 123):

1. Laje de betão de 30 cm de espessura;
2. Dupla camada de betonilha, com espessura total de 12 mm;
3. Uma camada de revestimento ou proteção, com 10 mm de espessura;
4. Acabamento, por exemplo linóleo ou pavimento flutuante, com 10 mm de espessura.

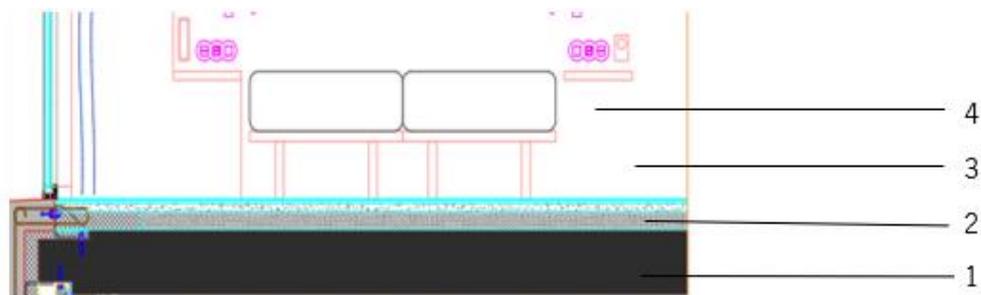


Figura 123: Composição do piso dos quartos

Finalmente, o teto (figura 124) é constituído por uma placa de aquapanel para pintar, com espessura de 10 mm, e respetiva estrutura de fixação das placas com isolamento térmico do tipo XPS com 80 mm de espessura.

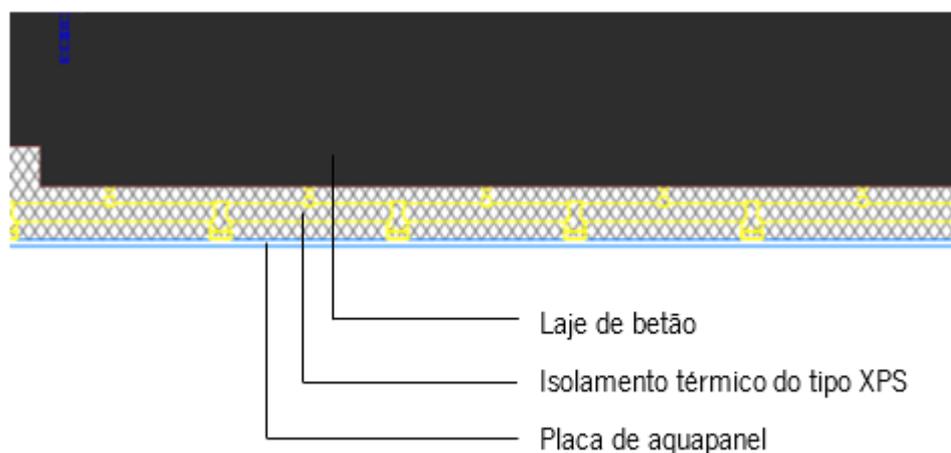


Figura 124: Constituintes do teto dos alojamentos

O núcleo rígido do projeto de construção *in-situ*, isto é, a zona de escadas e caixa de elevadores, é uma zona cuja disposição, aquando da modularização, não poderá, de forma alguma, ser alterada. De notar que, apesar de se tratar de um aspeto de elevada importância no dimensionamento de um edifício, nesta fase de estudo não foi avaliado o comportamento do sistema face a ações horizontais. Para tal, seria necessário estudar o sistema estrutural de modo a promover a ligação de todos os elementos pré-fabricados, ao nível de cada piso, ao núcleo central. O presente trabalho foca-se, essencialmente, na ligação a efetuar entre os diferentes módulos.

Esta zona apresenta então duas caixas para elevador e as escadas que dão acesso aos diversos pisos. A caixa de escadas encontra-se delimitada por paredes resistentes de betão armado (zonas

representadas a vermelho na figura 125) e tijolo (zonas representadas a cinzento na figura 125), com espessuras de 25 cm e 20 cm, respetivamente. As caixas de elevador são também delimitadas por paredes de betão armado (zonas representadas a vermelho na figura 125) e tijolo (zonas representadas a cinzento na figura 125), com espessuras de 20 cm e 15 cm, respetivamente.

Tanto as paredes de betão como as de tijolo estão revestidas com placas de gesso cartonado, com espessura de 20 mm, ou com painéis de madeira com espessura de 10 mm, dependendo do acabamento pretendido.

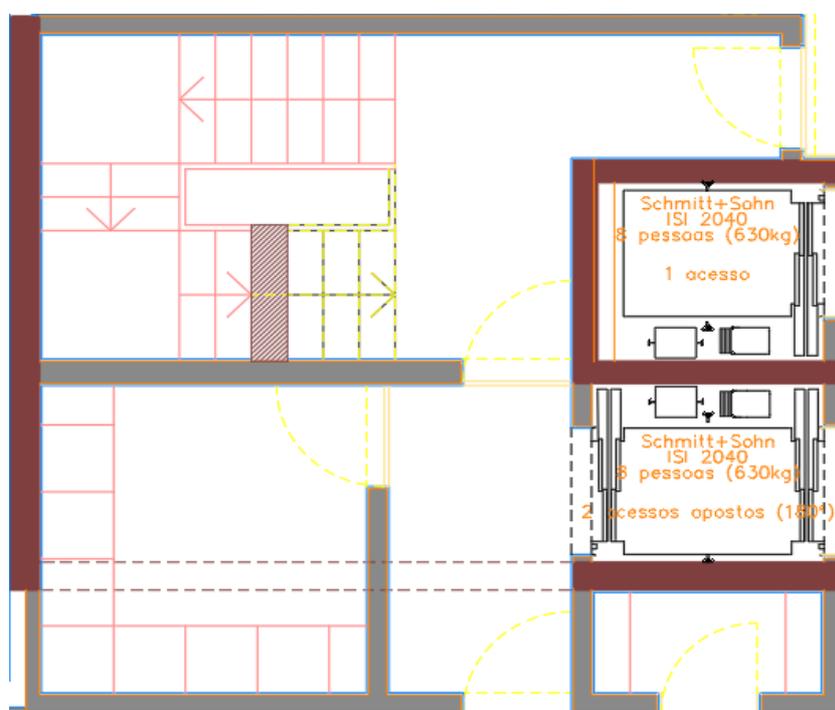


Figura 125: Núcleo rígido do projeto *in-situ*

### 3.2.2. Projeto estrutural

O presente caso de estudo trata-se de um projeto de construção tradicional construída *in situ*, isto é, estruturalmente consiste numa estrutura porticada constituída por vigas, pilares, núcleos e paredes resistentes e lajes maciças e aligeiradas em betão armado.

#### Elementos estruturais

As vigas utilizadas são vigas de secção retangular, em betão armado, com bases e alturas a variar entre

0,15 e 0,25 m e 0,41 e 1,45 m, respetivamente.

Já os pilares, de uma forma geral, são de secção retangular, em betão armado, com comprimentos e larguras a variar entre 0,20 e 1 m e 0,20 e 0,90 m, respetivamente. Em alguns dos pisos, em vez de pilares em betão armado, foram utilizados pilares metálicos de perfil H.

A laje que constitui os diferentes pisos é uma laje aligeirada com 30 cm de espessura. Na figura 126 é indicada a numeração das vigas (V) e dos pilares (P) e de seguida nas tabela 2 e 3 apresenta-se o resumo com as respetivas dimensões.



Figura 126: Numeração das vigas, pilares, caixas de elevadores e caixa de escadas

Tabela 2: Dimensões das vigas, por piso (continua)

Piso	Viga	Secção	
		Base (m)	Altura (m)
<b>1</b>	V1 - V3	0,25	0,47
	V4 - V11	0,20	0,47
	V12 - V16	0,25	0,47
	V17 - V19	0,25	0,70
	V20 - V22	0,25	0,47
	V23 - V25	0,15	1,45
	V26	0,25	0,60
<b>2</b>	V1 - V3	0,20	0,47
	V4 - V11	0,20	0,47
	V12 - V16	0,25	0,47
	V17 - V19	0,25	0,70
	V20 - V22	0,25	0,47
	V23 - V25	0,15	0,60
	V26	0,25	0,60
<b>3</b>	V1 - V3	0,20	0,47
	V4 - V11	0,20	0,47
	V12 - V16	0,25	0,47
	V17 - V19	0,25	0,70
	V20 - V22	0,25	0,47
	V23 - V25	0,15	0,60
	V26	0,25	0,60
<b>4</b>	V1 - V3	0,20	0,47
	V4 - V11	0,20	0,47
	V12 - V16	0,25	0,47
	V17 - V19	0,25	0,70
	V20 - V22	0,25	0,47
	V23 - V25	0,15	0,60

Tabela 2: Dimensões das vigas, por piso (continuação)

	V26	0,25	0,60
<b>Cobertura</b>	V1 – V3	0,20	0,41
	V4 – V11	0,20	0,41
	V12 – V16	0,25	0,41
	V17 – V19	0,25	0,70
	V20 – V22	0,25	0,41
	V23 – V25	0,15	1,45
	V26	0,25	0,60

Tabela 3: Dimensões dos pilares, por piso (continua)

Piso	Pilar	Secção	
		Altura (m)	Largura (m)
<b>1</b>	P1	0,60	0,25
	P2	0,70	0,25
	P3	0,90	0,25
	P4 – P12	0,20	0,30
	P13	HEB450	
	P14 – P16	0,70	0,25
	P17	0,25	0,70
	P18 – P19	0,25	0,85
	P20	0,25	0,90
	P21	0,25	0,60
	P22	0,25	0,70
	P23 – P25	HEB450	
<b>2</b>	P1	0,60	0,20
	P2	0,70	0,20
	P3	0,90	0,20
	P4 – P12	0,20	0,30
	P13	0,30	0,60
	P14 – P16	0,60	0,25
	P17	0,25	0,70
	P18 – P19	0,25	0,85
	P20	0,25	0,90
	P21	0,25	0,50
	P22	0,20	0,70
	P23	1,00	0,20
	P24	1,00	0,20
P25	0,30	0,60	

Tabela 3: Dimensões dos pilares, por piso (continuação)

<b>3</b>	P1	0,60	0,20
	P2	0,70	0,20
	P3	0,90	0,20
	P4 – P12	0,20	0,30
	P13	0,30	0,60
	P14 – P16	0,60	0,25
	P17	0,25	0,70
	P18 – P19	0,25	0,85
	P20	0,25	0,90
	P21	0,25	0,50
	P22	0,20	0,70
	P23	1,00	0,20
	P24	1,00	0,20
	P25	0,30	0,60
<b>4</b>	P1	0,60	0,20
	P2	0,70	0,20
	P3	0,90	0,20
	P4 – P12	0,20	0,30
	P13	0,30	0,60
	P14 – P16	0,60	0,25
	P17	0,25	0,70
	P18 – P19	0,25	0,85
	P20	0,25	0,90
	P21	0,25	0,50
	P22	0,20	0,70
	P23	1,00	0,20
	P24	1,00	0,20
	P25	0,30	0,60

Tabela 3: Dimensões dos pilares, por piso (continuação)

<b>Cobertura</b>	P1	0,60	0,20
	P2	0,70	0,20
	P3	0,90	0,20
	P4 – P12	0,20	0,30
	P13	0,30	0,60
	P14 – P16	0,60	0,25
	P17	0,25	0,70
	P18 – P19	0,25	0,85
	P20	0,25	0,90
	P21	0,25	0,50
	P22	0,20	0,70
	P23	1,00	0,20
	P24	1,00	0,20
	P25	0,30	0,60

### **Núcleo rígido (Zona de escadas e elevadores)**

O núcleo rígido é constituído por uma caixa de escadas e duas caixas de elevador. A primeira caixa encontra-se delimitada por uma parede resistente de betão armado com espessura de 25 cm e a segunda, a dos elevadores, encontra-se delimitada por um núcleo resistente em betão armado em volta da caixa de elevador 1 (CE1), um núcleo resistente e paredes resistentes na caixa de elevador 2 (CE2) e na caixa de escadas (ST). Nesta zona existem ainda quatro vigas de secção retangular (V23, V24, V25 e V26).

Finalmente, no último piso, existe uma laje maciça de cobertura nas caixas de elevador 1 e 2 (CE1 e CE2).

### **3.3. Projeto de construção modular**

A presente secção consistirá na conversão do projeto de construção corrente apresentado acima num projeto de construção modular, ou seja, o objetivo será a criação de módulos que poderão ser maioritariamente construídos em fábrica, com as especialidades integradas, que serão depois assemblados *in-situ* de modo a “recriar” a unidade hoteleira.

A construção modular, relativamente à construção *in-situ* com betão armado e panos de alvenaria, é uma construção mais rápida, pois os materiais são mais leves, com boa durabilidade, eficiente e mais sustentável, uma vez que os espaços que compõem uma obra modular são executados em fábrica, acabando por haver uma redução significativa dos desperdícios de materiais, e são facilmente adaptáveis às necessidades dos ocupantes.

Ao longo da conceção do módulo surgirão condicionantes às quais será necessário dar resposta e adaptar a estrutura de modo a solucionar essas limitações. Após a modelação dos módulos proceder-se-á à compatibilização dos diversos elementos com o projeto original.

Após a análise do projeto de construção corrente foi possível notar certos fatores que condicionaram a elaboração do módulo. Alguns dos problemas encontrados foram a diferença arquitetónica de alguns módulos relativamente à maioria, a localização das coretes da casa de banho, a presença de pilares na zona de assemblagem dos módulos, a execução de corredores de ligação entre os diferentes espaços e a compatibilização dos módulos ao projeto original. Ao longo desta secção procurar-se-á dar resposta e solucionar as adversidades descritas acima e, simultaneamente, conceptualizar-se-á um edifício funcional com as soluções propostas.

O módulo e o edifício serão modelados em BIM, com recurso ao software Revit 2021.

#### **3.3.1. Condicionantes do módulo**

Através da análise do projeto de construção corrente é possível notar que os alojamentos I (figura 117) e J (figura 116), apesar das suas formas retangulares, apresentam uma configuração distinta à dos restantes alojamentos.

O primeiro alojamento, em comparação com os restantes e por se tratar de uma suite, possui uma maior área, um maior número de janelas e uma casa de banho retangular em vez de formato em L. O segundo alojamento é idêntico aos restantes, exceto na casa de banho, cujo formato é retangular em vez de forma

em L.

De modo a facilitar o processo de modularização do alojamento J, o mesmo foi convertido no tipo de alojamento que surge maioritariamente no projeto de construção tradicional, ou seja, sofrerá apenas alteração na forma da casa de banho, adotando a forma em L. O módulo que aparecerá em maior número será denominado por módulo comum.

O mesmo tipo de solução não foi exequível para o alojamento I. Apesar das várias tentativas, sem sucesso, de tentar adaptar o módulo comum ao espaço do alojamento I concluiu-se que a melhor solução seria a execução de um segundo tipo de módulo, denominado por módulo de suite.

### 3.3.2. Necessidade de integração das instalações e equipamentos

Estabelecida a arquitetura modular dos diferentes alojamentos é necessário agora analisar a questão da localização das coretes. Estas são zonas ocas “*por onde pode ser feita a evacuação de gases e ventilação e por onde passam as condutas de águas, gás e outros serviços*” (Civil, n.d.) .

No projeto inicial estas zonas técnicas são comuns a cada dois alojamentos (figura 127), no entanto, como o objetivo do trabalho é a execução de um módulo completo, com as instalações técnicas incluídas e que sirva o propósito do alojamento hoteleiro, a solução passou por incorporar uma corete na casa de banho de cada módulo.

As coretes, tal como enunciado na descrição acima, são zonas por onde passam tubagens para drenagem de águas, redes AVAC, etc., por isso devem ser de fácil acesso caso haja alguma avaria ou necessidade de manutenção. Assim, de modo a facilitar o acesso, tanto para montagem como para manutenção, considerou-se que uma parte dos painéis de parede que revestem as zonas técnicas seriam removíveis.

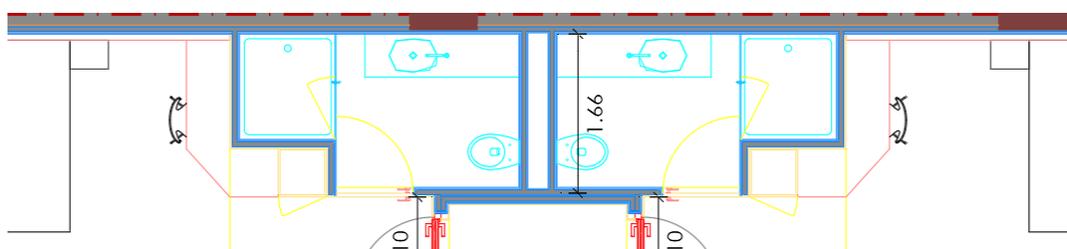


Figura 127: Localização das coretes

### **3.3.3. Definição de soluções, materiais e equipamentos**

Após a definição da melhor localização das coretes, procede-se à escolha dos materiais que irão revestir o módulo. Este passo é fundamental para dar seguimento à definição das dimensões úteis do módulo, uma vez que os mesmos não podem interferir com zonas do núcleo rígido, tais como caixas de escadas ou caixas de elevador, nem provocar alterações no número de alojamentos.

#### **Desempenho funcional do edifício**

A seleção dos materiais de revestimento é influenciada por normas e regulamentos que definem os parâmetros que garantem, ao utilizador, o conforto térmico e acústico necessário para o seu bem-estar e para um desempenho funcional do edifício, nomeadamente, a segurança contra incêndios e o sistema de climatização AVAC.

#### Conforto Acústico

O som é algo que está sempre presente no nosso dia-a-dia, seja na forma de música ou de uma simples conversa entre amigos e que acaba por desencadear diversas sensações. No entanto, quando em elevada intensidade pode apresentar carácter incomodativo, o designado ruído, afetando o bem-estar e a saúde do ser humano. A acústica tem então como objetivo o estudo do som, e em meados do século XX, com o desenvolvimento da acústica das construções foi possível começar a proporcionar aos ocupantes dos edifícios as condições de conforto acústico apropriados às suas atividades. É possível agora a um engenheiro, arquiteto ou urbanista conceber construções com as características necessárias para diminuir ou até mesmo evitar os ruídos. Um edifício pode estar sujeito a diversas fontes de propagação do som, dos quais se destacam os sons aéreos e os sons de percussão. Os sons aéreos podem ser provenientes do exterior ou do interior. Os sons exteriores resultam do tráfego aéreo ou da circulação ferroviária e rodoviária e definem o tipo de isolamento sonoro a aplicar na envolvente do edifício. Os sons interiores podem resultar dos ocupantes na utilização do próprio edifício, dos equipamentos de carácter individual ou coletivo ou da própria atividade quotidiana, determinando o tipo de isolamento necessário dos elementos de compartimentação (S. M. da Silva, n.d.-a).

Os principais elementos de propagação dos sons aéreos são os pavimentos, paredes, tetos, portas e janelas, ou até mesmo por fissuras existentes nas superfícies da envolvente e o isolamento a estes sons resulta normalmente da dissipação de energia sonora que é absorvida pelo elemento construtivo. Um

dos tipos de isolamento mais utilizado, por exemplo, na fachada de um edifício é a caixa de ar, no entanto a sua eficiência depende da sua dimensão, da presença de material de absorção e do método de ligação aos restantes elementos construtivos.

Os sons de percussão têm origem em fontes que produzem vibrações, com grande quantidade de energia, em estruturas sólidas, propagando-se com grande facilidade por toda a estrutura. Estes são produzidos com a queda de objetos, andar ou saltar, bater de portas ou a partir de canalizações e o seu efeito pode ser reduzido através de revestimento dos pavimentos com materiais absorventes (S. M. da Silva, n.d.-a).

### Conforto Térmico

Para além do conforto acústico, o ambiente térmico é de grande importância no design dos edifícios uma vez que tem consequências ao nível do foro psicológico e físico dos ocupantes do edifício.

Aquando da projeção de um edifício, o objetivo, para além do fator proteção ao ambiente exterior, é a criação de um microclima nos espaços interiores que providencie aceitáveis níveis de qualidade ar e simultaneamente responda às necessidades térmicas dos ocupantes do edifício.

Um edifício está bem-adaptado ao clima se salvaguarda os utilizadores das condições do ambiente exterior, como o ruído, vento, chuva ou radiação, sem geração de situações de desconforto no interior. Ao apresentar este comportamento, é possível verificar que o edifício tem bom isolamento, sistemas adaptativos (sistemas de controlo, como portas, janelas, sistemas de climatização e ventilação, que podem ser ajustados para responder às exigências ambientais dos ocupantes) e ganhos solares passivos. No inverno, o edifício aumenta a temperatura interior através de ganhos solares e, no verão, possui sistemas de arrefecimento e encontra-se abrigado da radiação solar, resultando num edifício cuja fonte de conforto térmico é o sol durante a maior parte do ano (S. M. da Silva, n.d.-b).

Caso o edifício não se adeque ao ambiente que o rodeia então torna-se necessária a utilização de equipamentos de arrefecimento no verão e de aquecimento no inverno, equipamentos estes com custos e consumos energéticos elevados.

A regulamentação térmica portuguesa, aprovada em 2013 (Decreto-Lei N.º 118/2013, de 20 de Agosto, 2013), define os limites em 18°C no inverno, e 25°C no verão, que em conjunto com ventilação natural pode proporcionar um ambiente confortável mesmo quando as condições de conforto indicadas não são atingidas. Em Portugal, a solução mais usual e eficaz é a utilização de sistemas de aquecimento.

Em suma, o conforto térmico pode ser conseguido através da adaptação do edifício aos requisitos dos

ocupantes ou através da adaptação dos ocupantes às condições do edifício (S. M. da Silva, n.d.-b).

### Sistemas de Climatização

Na maioria das vezes não é possível alcançar o conforto térmico apenas através de meios naturais e por isso é de prática comum a utilização de sistemas de climatização AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) (figura 128), garantindo-se a qualidade do ar no interior dos espaços através da renovação do ar e o conforto térmico dos utilizadores do edifício.

Os sistemas AVAC têm como função o aquecimento e arrefecimento dos espaços, o controle de humidade, a filtragem e renovação do ar e a circulação do ar, minimizando as assimetrias térmicas e mantendo a temperatura e a humidade nos padrões admissíveis e, ao contrário da ventilação natural, a ventilação mecânica não provoca correntes de ar desagradáveis.

A ventilação mecânica é de fácil controlo, no entanto exige instalações, sistemas próprios e energia e, quanto pior a envolvente do edifício maior terá de ser o sistema AVAC e, conseqüentemente, maiores serão os gastos e os custos de energia. A circulação do ar proveniente dos sistemas de AVAC faz-se através de condutas que circulam nos tetos dos espaços, de maneira visível ou oculta, ou em coretes técnicas. Durante a concretização de um projeto de construção, é de extrema importância prever espaços suficientes para as condutas e a sua compatibilização com outras especialidades e elementos estruturais, como vigas e pilares.



Figura 128: Exemplo de sistema AVAC

<https://www.4paredes.info/wp-content/uploads/2016/01/1487eb2fa41b99168d3ac67e6b5c4815.jpg>

### Segurança Contra Incêndio do Edifício

Por fim, outros dos aspetos relevantes para o desempenho funcional do edifício é a segurança contra incêndios, regida pelo Decreto-lei n.º 220/2008, de 12 de novembro (Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro, 2008) , alterado pelo Decreto-lei n.º 224/2015 de 12 de novembro e pelo Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios (RJ-SCIE). Os regulamentos aplicam-se na totalidade a novos edifícios, edifícios já existentes e em reconstrução e a edifícios sujeitos a mudança de uso permanentes. Para a implementação das medidas de segurança é primordial a caracterização de parâmetros como a utilização-tipo do edifício, a classificação dos locais de risco, categoria de risco, altura da utilização-tipo e altura do edifício. Segundo o RJ-SCIE, os edifícios devem ser classificados de acordo com o tipo de uso dominante. Os edifícios podem ser de utilização-tipo (UT) única ou mista, existindo 12 utilizações-tipo (de I a XII) para a classificação do uso dos edifícios (Tabela 4).

Todos os espaços dos edifícios e recintos, à exceção das vias horizontais e verticais de evacuação e dos espaços interiores de cada fogo, podem ser assumidos como locais de risco e, em função da natureza do risco de incêndio, podem ser classificados em 6 locais de risco.

Ao edifício em estudo, por se tratar de um hotel e local de dormida, corresponde uma utilização-tipo do tipo VII e local de risco do tipo E.

Dependendo da utilização-tipo, os edifícios possuem mais ou menos fatores de risco à segurança contra incêndios e, por isso, a classificação da categoria de risco em quatro níveis de risco de incêndio é influenciada pelos mesmos.

Tabela 4: Tabela de Utilização-Tipo

Utilização-tipo	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Hab	Est	Adm	Escol	Hosp	Espe	Hotel	Com	Desp	Mus	Bibli	Indus
Altura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Área bruta		X										
Saída direta ao exterior Locais de risco D, E				X	X		X					
Coberto/ar livre		X				X			X			X
Efetivo total			X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Efetivo em locais de risco D, E				X	X		X					
Piso abaixo do PR	X	X				X		X	X		X	X
Carga de incêndio											X	
Densidade de carga de incêndio												X

Analisando a tabela 4 é possível constatar que os fatores de risco para uma unidade hoteleira são a altura do edifício, a saída direta ao exterior, o efetivo (número máximo estimado de pessoas que pode ocupar em simultâneo um dado espaço de um edifício ou recinto (Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro, 2008)) total e o efetivo em locais de risco D, E.

Categoria	Critérios referentes à utilização-tipo VII			Locais de risco E com saídas independentes directas ao exterior no plano de referência
	Altura da UT VII	Efectivo da UT VII		
		Efectivo	Efectivo em locais de risco E	
1. <sup>a</sup> .....	≤ 9 m	≤ 100	≤ 50	Aplicável a todos.
2. <sup>a</sup> .....	≤ 9 m	≤ 500	≤ 200	Não aplicável.
3. <sup>a</sup> .....	≤ 28 m	≤ 1 500	≤ 800	Não aplicável.
4. <sup>a</sup> .....	> 28 m	> 1 500	> 800	Não aplicável.

Figura 129: Categorias de risco da utilização-tipo VII "Hoteleiros e restauração"

O edifício em análise tem uma altura da UT inferior a 28 m, e como o número de efetivos respeita o valor máximo imposto à utilização-tipo VII apresentado na figura 129, então conclui-se que é de categoria de risco nível 3.

As escolhas dos materiais de revestimento do edifício também têm um peso significativo na segurança e resistência contra incêndio. A reação ao fogo de um material de construção traduz-se na sua decomposição e consequente contribuição para o início e desenvolvimento de um incêndio. Este parâmetro, denominado por Euroclasse de reação ao fogo, é avaliado com base em ensaios normalizados e as classes são as seguintes:

- A1 – Nenhuma contribuição para o fogo;
- A2 – Contribuição para o fogo quase nula;
- B – Contribuição para o fogo muito limitada;
- C – Contribuição para o fogo limitada;
- D – Contribuição para o fogo aceitável;
- E – Reação ao fogo aceitável;
- F – Comportamento não determinado.

De um modo geral, os materiais que serão mais utilizados para a conceção dos módulos e do edifício

em si são as placas gesso cartonado, lã de rocha, painéis XPS (Poliestireno Extrudido), painéis de madeira OSB (“*Oriented Strand Board*”), placa de madeira CLT (“*Cross Laminated Timber*”) e painéis de betão pré-fabricados, cujas Euroclasses se encontram na tabela 5.

Tabela 5: Classificação dos materiais segundo a reação ao fogo

<b>Material de Construção</b>	<b>Euroclasse de reação ao fogo</b>
Placa de gesso cartonado	A2
Lã de rocha	A1
Painel XPS	E
Painel de madeira OSB	D
Placa de OSB	D
Painel de betão pré-fabricado	A

### **Definição dos materiais de revestimento**

Em suma, os elementos de revestimento, como paredes, laje de piso e teto, que serão apresentados de seguida foram selecionados e combinados de modo a cumprirem com as necessidades térmicas e acústicas de uma unidade hoteleira, garantindo o respetivo conforto aos ocupantes do espaço e a garantirem o desempenho funcional do edifício, através da implementação dos sistemas de climatização AVAC, e a segurança do edifício contra incêndios.

#### Paredes

Os módulos serão revestidos por quatro tipos de paredes distintos. As paredes divisórias, que fazem a separação entre os diferentes módulos, a parede de fachada, que faz a divisão entre o interior do alojamento e o espaço envolvente exterior, finalmente, a parede interior, que faz a divisão entre as zonas de quarto e casa de banho.

As paredes divisórias (figura 130), com espessura total de 97,5 mm, são compostas por:

1. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura de 12,5 mm cada uma;
2. Lã de rocha, com espessura de 60 mm;
3. Estrutura metálica de 60 mm;
4. Placa de madeira do tipo OSB, com espessura de 12,5 mm.

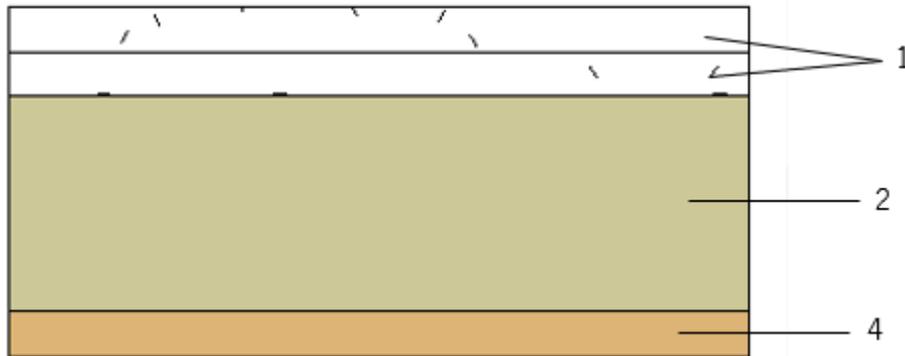


Figura 130: Composição da parede divisória

A dupla placa de gesso cartonado da parede divisória serve como acabamento estético do quarto, a lã de rocha, do tipo mineral, é utilizada para efeitos de isolamento e, como material que irá estar em contacto com a parede do módulo vizinho optou-se por um painel de madeira OSB. Apesar de no projeto original constar uma placa de gesso cartonado, para o presente projeto decidiu-se por este material uma vez que, como o módulo vem com as paredes terminadas para o local de obra, os painéis OSB apresentam maior resistência estrutural para o ato de transporte e elevação do módulo por meio de grua até ao local de assemblagem. Todos estes materiais serão acoplados, ou inseridos, como é o caso da lã de rocha, na estrutura metálica.

Existe também uma parede de corete, que faz a divisão entre a zona técnica e o espaço de casa de banho, com a mesma composição das paredes divisórias, no entanto a espessura da lã de rocha é de 50 mm, em vez dos 70 mm da parede divisória, e todos os constituintes ficam acoplados a uma estrutura metálica de 50 mm.

As paredes de fachada (figura 131), com espessura total de 380 mm, são compostas por:

1. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura de 12,5 mm cada uma;
2. Lã de rocha, com espessura de 70 mm;
3. Dupla placa madeira do tipo OSB, com espessura de 12,5 mm cada uma;
4. Estrutura metálica de 70 mm;
5. Caixa de ar;
6. Placa de XPS, com 80 mm de espessura;
7. Painel de betão pré-fabricado, com 100 mm de espessura.

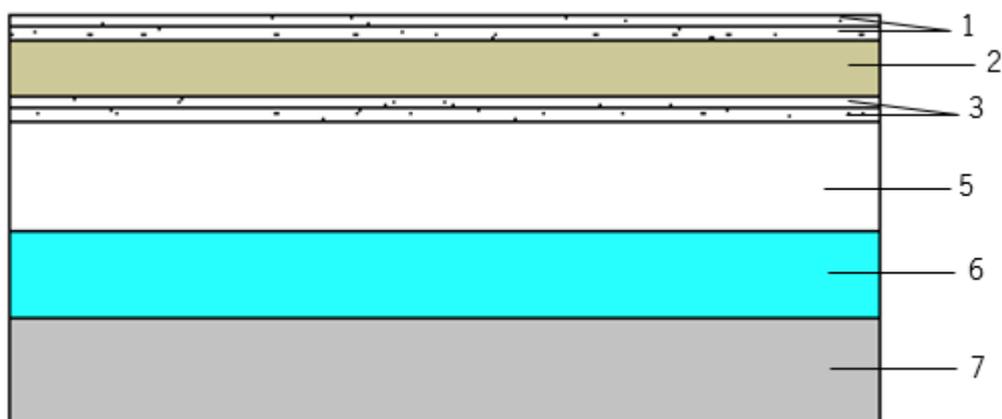


Figura 131: Composição da parede de fachada

A dupla placa de gesso cartonado da parede de fachada serve como acabamento estético do quarto, a lã de rocha, do tipo mineral, é utilizada para efeitos de isolamento e, como material que irá estar em contacto com a parede do módulo vizinho optou-se por duplo painel de madeira OSB, de modo a garantir o conforto acústico no interior do alojamento e assegurar a resistência necessária aquando do transporte e elevação do módulo ao local de obra. Todos estes materiais serão acoplados, ou inseridos, como é o caso da lã de rocha, na estrutura metálica.

A parede de fachada é ainda constituída por uma placa de XPS e um painel de betão pré-fabricado, no entanto estes não virão montados no módulo desde fábrica, sendo acopladas à estrutura já *in situ*. Ao tratar-se de um projeto de uma cadeia de hotéis que está presente em diversos pontos do país torna-se vantajosa a utilização de uma fachada independente, pois a escolha das fachadas depende da zona climática e dos requisitos de cada distrito relativamente à envolvente dos edifícios. Para além disto, do ponto de vista estrutural, é indicada a montagem dos painéis após a sua assemblagem porque a elevação do módulo ocorre sem grandes problemas de instabilidade, uma vez que o centro de gravidade está praticamente alinhado com o centro de massa do módulo, e não situado perto da parede onde leva o painel. Finalmente, do ponto de vista arquitetónico e estético, torna-se mais agradável ao olhar devido à ausência de juntas.

Finalmente, a paredes interiores ou de casa de banho (figura 132), com 92,5 mm de espessura, são constituídas por:

1. Dupla placa de gesso cartonado, com espessura de 12,5 mm cada;
2. Lã de rocha, com espessura de 50 mm;
3. Placa de gesso cartonado, com espessura de 12,5 mm;

4. Painel de madeira, com espessura de 12,5 mm;
5. Estrutura metálica de 50 mm.



Figura 132: Composição da parede interior

A dupla placa de gesso cartonado da parede interior serve como acabamento estético da casa de banho, a lã de rocha, do tipo mineral, é utilizada para efeitos de isolamento e o painel de madeira serve como acabamento estético do quarto. Todos estes materiais serão acoplados, ou inseridos, como é o caso da lã de rocha, na estrutura metálica.

#### Laje de piso

A laje tem como função servir de base e divisória aos vários pisos do edifício. No projeto de construção corrente o piso é constituído por uma laje de 30 cm em betão armado, betonilha, uma manta de revestimento ou proteção e finalmente o acabamento.

Para o projeto de construção modular optou-se por uma solução diferente à do projeto original. Neste, a laje de piso será executada com painéis de madeira CLT (*“Cross Laminated Timber”*). Para além de ser mais leve que o betão armado, a sua montagem é simples e rápida, é um material ecológico, com bom comportamento ao nível dos isolamentos acústico e térmico, boa resistência e grande estabilidade.

A solução consiste numa laje de CLT com uma manta absorvente integrada, com espessura total de 29 cm (figura 133). De modo a atingir os requisitos de isolamento a sons de percussão regulamentados para unidades hoteleiras, a laje é constituída por uma parte uma primeira camada em CLT de menor espessura, seguida de uma manta isolante com 1 cm de espessura e, finalmente, uma segunda camada em CLT de maior espessura. Para além disto é ainda colocada uma borracha entre as vigas e as lajes para efeitos de isolamento acústico.

O acabamento, em linóleo ou piso flutuante, pode ser aplicado diretamente em cima da laje. Caso a

manta absorvente não fosse integrada na laje e estivesse instalada entre a laje e o acabamento em linóleo ou piso flutuante daria ao ocupante do espaço a sensação de estar a caminhar sobre algo “esponjoso”, originando uma sensação de desconforto.

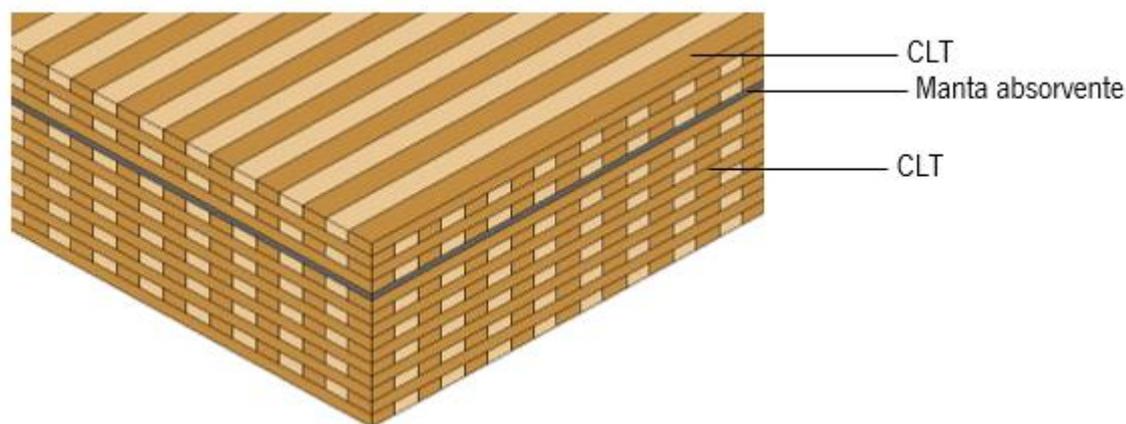


Figura 133: Composição da laje de piso

### Teto

Para o projeto modular estabeleceu-se que apenas a laje de piso teria propriedades estruturais e por isso o teto do módulo será apenas um elemento arquitetônico e de acabamento. Assim, o produto esperado será um módulo aberto na parte superior. Este não terá as vigas superiores para a sustentação do teto e, por isso, será apenas constituído por vigas inferiores para sustentação da laje de piso e pelos respectivos pilares.

Antes de se proceder à adoção da atual solução para o teto do módulo, ponderou-se a ausência de teto, ficando apenas a madeira exposta da laje em CLT dos módulos superiores, no entanto tal solução seria inviável devido à necessidade de passagem das condutas para renovação do ar e de tubagens para drenagem de águas residuais. Então, a solução encontrada foi a aplicação de teto falso em todo o edifício para ocultar as condutas de AVAC.

Os tetos são constituídos por isolamento térmico do tipo XPS integrado numa estrutura metálica (figura134) que faz a fixação das placas de acabamento, o qual pode ser em aquapanel para pintar ou em gesso cartonado. Este será executado em obra para evitar danos no ato de transporte e elevação do módulo e será fixado nas vigas do módulo assemblado no piso acima.



Figura 134: Estrutura de suporte para teto falso

<https://pt.habcdn.com/photos/project/medium/tecto-do-quarto-com-estrutura-para-aplicar-o-pladur-5438.jpg>

Na tabela 6 encontra-se uma síntese comparativa entre os elementos utilizados no projeto de construção *in-situ* e o projeto de construção modular.

Tabela 6: Tabela resumo dos materiais utilizados em ambos os projetos (continua)

<b>Materiais de revestimento do projeto de construção “<i>in-situ</i>”</b>		<b>Materiais de revestimento de projeto de construção modular</b>	
Parede fachada tipo 1	Tijolo (20 cm de espessura)	Parede fachada	Dupla placa de gesso cartonado (12,5 mm de espessura)
	Caixa-de-ar (6,5 cm de espessura)		Lã de rocha (70 mm d espessura)
	Painel de gesso cartonado simples (10 mm de espessura)		Dupla placa madeira do tipo OSB (25 mm d espessura)
	Lã de rocha (50 mm de espessura)		Caixa de ar
	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)		Placa de XPS (80 mm de espessura)
Parede fachada tipo 2	Tijolo (15 cm de espessura)	Parede fachada	Painel de betão pré-fabricado (10 cm de espessura)
	Dupla placa de gesso cartonado (20 mm de espessura)		-
	Lã de rocha (50 mm de espessura)		-

Tabela 6: Tabela resumo dos materiais utilizados em ambos os projetos (continua)

	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)		-
Parede fachada tipo 3	Painel de betão pré-fabricado (10 cm de espessura)		-
	Placa de XPS (80 mm de espessura)		-
	Caixa de ar (10 cm de espessura)		-
	Lã de rocha de alta densidade (70 mm de espessura)		-
	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)		-
Parede divisória	Placa de gesso cartonado (10 mm de espessura)	Parede divisória	Placa de madeira do tipo OSB (12,5 mm de espessura)
	Lã de rocha (50 mm de espessura)		Lã de rocha (60 mm de espessura)
	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)		Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)
Parede interior	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)	Parede interior	Dupla placa de gesso cartonado (25 mm de espessura)
	Lã de rocha (50 mm de espessura)		Lã de rocha (50 mm de espessura)
	Placa de gesso cartonado (12,5 mm de espessura)		Placa de gesso cartonado (12,5 mm de espessura)
	Painel de madeira (12,5 mm de espessura)		Painel de madeira (12,5 mm de espessura)
Piso	Laje de betão (30 cm de espessura)	Piso	Laje de CLT com duas camadas de diferentes espessuras
	Dupla camada de betonilha (12 mm de espessura)		
	Camada de revestimento (10 mm de espessura)		Manta isolante entre camadas CLT (10 mm de espessura)
	Acabamento (10 mm de espessura)		Acabamento (10 mm de espessura)

Tabela 6: Tabela resumo dos materiais utilizados em ambos os projetos (continuação)

Teto	Placa aquapanel (10 mm de espessura)	Teto	Placa aquapanel (10 mm de espessura)
	Estrutura de fixação e placa XPS (80 mm de espessura)		Estrutura de fixação e placa XPS (80 mm de espessura)

### 3.3.4. Dimensões úteis e totais dos módulos e a influência no transporte

Com as espessuras das paredes definidas é possível agora definir as dimensões úteis dos módulos. Como referido anteriormente, o número de alojamentos deverá manter-se igual ao do projeto original e os módulos não poderão entrar em conflito com as zonas do núcleo rígido e, por isso, é necessário encontrar as dimensões ideais de modo que possam cumprir ambos os requisitos.

Assim, foi possível chegar à conclusão de que as dimensões totais para o módulo seriam de 6,98 m de comprimento e 3 m de largura e as dimensões úteis da casa de banho seriam de 2,30 m de comprimento e 1,6 m de largura. A corete por sua vez terá uma profundidade de 0,21 m. Para o módulo de suite resultaram umas dimensões totais de 8,17 m de comprimento e 4,28 m de largura, cuja casa de banho terá como dimensões úteis 3,56 m de comprimento e 1,69 m de largura.

Uma vez que os módulos são concebidos em fábrica e depois transportados para o local de obra, o modo de transporte dos mesmos é um dos fatores que mais influenciam na definição e concretização do módulo.

O transporte dos módulos é normalmente realizado com recurso a camiões porta-contentores. Estes não necessitam de autorização anual de circulação se a carga a transportar não exceder em comprimento e largura as dimensões do estrado ou plataforma ou se transportarem contentores normalizados de classe ISO de dimensão inferior a 45 pés. Caso tal não seja possível é necessário recorrer a transporte especial.



Figura 135: Camião porta-contentor  
[http://www.pelichos.pt/imagens/img\\_2.jpg](http://www.pelichos.pt/imagens/img_2.jpg)

Segundo a Portaria nº 472/2007, publicada no DR II Série nº119 de 22 de junho de 2007 e alterada pela Portaria nº787/2009 de 29 de julho de 2009, referente ao Regulamento de Autorizações Especiais de Trânsito, o transporte excepcional é definido como o “transporte realizado em veículo ou conjunto de veículos que, em virtude do transporte de objetos indivisíveis, excede os limites regulamentares ou cuja carga excede os limites da respetiva caixa” (Portaria N°472/2007 - Regulamento de Autorizações Especiais de Trânsito -, 2007). Estes veículos devem apresentar uma autorização anual para circulação e, para a mesma ser emitida, os transportes excepcionais não podem exceder as seguintes dimensões:

- Altura total de 4,60 m;
- Comprimento total de 25,25 m;
- Largura total de 4 m.

Caso a largura da carga seja superior a 3 m ou o seu comprimento exceder a dimensão apresentada acima, o trânsito destes veículos deverá ser feito com acompanhamento por carro-piloto.

Após a análise da regulamentação referente à capacidade dos camiões de transporte é possível notar que, apesar do módulo mais comum cumprir a regulamentação, o mesmo não acontece ao módulo de suite.

Assim, a solução passou pela divisão do módulo em três secções. A primeira secção diz respeito à casa de banho e as restantes tratam-se da divisão do quarto em duas partes. Assim, a secção de casa de banho (secção 1) tem como dimensões totais 4,28 m de comprimento e 1,90 m de largura. Já as outras secções (secções 2 e 3) têm, cada uma, dimensões totais de 4,28 m de comprimento e 3,225 m de

largura.

Tabela 7: Dimensões do módulo comum e das secções do módulo de suíte

Módulo		Dimensões totais do módulo		Dimensões úteis da casa de banho	
		Comprimento (m)	Largura (m)	Comprimento (m)	Largura (m)
<b>Comum</b>		6,98	3,00	2,30	1,60
<b>Suíte</b>	<b>Secção 1</b>	4,28	1,90	-	-
	<b>Secção 2</b>	4,28	3,135	-	-
	<b>Secção 3</b>	4,28	3,135	-	-

### 3.3.5. Conceção da estrutura

No contexto estrutural do projeto de construção tradicional, estão presentes elementos como vigas e pilares naquelas que serão as zonas de assentamento e assemblagem dos módulos. De modo a estes elementos não interferirem com os mesmos determinou-se que a solução seria a execução de módulos com propriedades estruturais, ou seja, tanto as vigas como os pilares serão executados com perfis metálicos.

A utilização de uma estrutura metálica para o presente projeto é uma boa solução pois é versátil, permitindo obter vãos mais amplos, tem uma boa capacidade resistente e apresenta elevada rapidez de montagem e menor uso de materiais, comparativamente, por exemplo, a estruturas de betão armado onde é necessária a utilização de cofragens e de tempo até que o betão seque e atinja a resistência necessária. Finalmente, acaba ainda por ser uma solução mais leve uma vez que os módulos concebidos em fábrica terão de ser transportados em camiões e elevados com recurso a gruas para o local da obra. No presente trabalho, estabeleceu-se que apenas a laje de piso seria considerada o elemento estrutural e o teto como um elemento arquitetónico, ao contrário do que ocorre nos típicos projetos de construção, onde tanto a laje de piso como de cobertura ou teto apresentam características estruturais. Assim, o produto esperado será um módulo aberto na parte superior. Este não terá teto nem vigas com finalidade estrutural na parte superior para a sustentação do mesmo e, por isso, será apenas constituído por vigas inferiores para sustentação da laje de piso e pelos respetivos pilares.

O módulo, apesar das suas formas simples e aparente simplicidade arquitetônica, apresenta complexidades no que diz respeito às ligações entre as diversas vigas, entre vigas e pilares, à ligação a outros elementos como lajes de piso ou cobertura, e até mesmo na conexão e montagem aos módulos vizinhos. Assim, ter-se-á de arranjar uma solução estrutural que responda a todas as dificuldades de união entre os diversos elementos e que apresente as condições de resistência necessárias para que seja uma estrutura estável, rígida e funcional.

O primeiro passo para a concepção da estrutura foi a escolha do perfil metálico, cujas primeiras opções foram os perfis mais frequentemente utilizados, como I, H e U (figura 136 e figura 137). Numa primeira tentativa de execução do módulo foram utilizados apenas perfis do mesmo tipo, por exemplo utilização de apenas perfis I, e realizadas inúmeras tentativas para que as ligações fossem viáveis. No entanto, com nenhum dos perfis foi possível obter uma solução que incluísse todos os tipos de ligação necessários à viabilidade da estrutura. Numa segunda tentativa procedeu-se à combinação dos diversos perfis, ou seja, a estrutura seria constituída por perfis de 2 ou mais tipos de perfis metálicos. Apesar da maior diversidade de combinações estruturais não foi ainda possível chegar à solução pretendida.



Figura 136: Estrutura metálica com perfil I  
<https://www.ferracocomercial.com.br/imagens/informacoes/perfil-i-estrutura-metalica-01.jpg>



Figura 137: Estrutura metálica com perfil U  
<https://www.mercadaochapaferro.com.br/Content/upload/products/176/thumb/perfil-u.png>

Assim, após a realização de diversas tentativas para conceber a estrutura com os perfis mais vulgarmente utilizados, concluiu-se que, para que todas as imposições relativamente a ligações fossem respeitadas o perfil ideal para a estrutura seria o perfil L, ou seja, a cantoneiras de abas iguais (figura 139 e figura 140), cujas características se encontram detalhadas abaixo (figura 138):

- $h = 200 \text{ mm}$ ;
- $b = 200 \text{ mm}$ ;
- $t = 15 \text{ mm}$ ;
- $r_1 = 18 \text{ mm}$ ;
- $r_2 = 9 \text{ mm}$ ;
- $G = 45,6 \text{ kg/m}$ ;
- $A = 58,10 \text{ cm}^2$ .

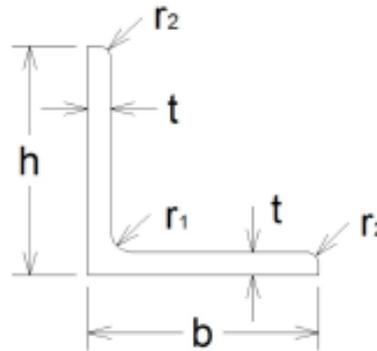


Figura 138: Características da cantoneira

Esta solução será utilizada tanto em forma de viga como em forma de pilar.



Figura 139: Estrutura metálica com perfil em L  
[https://http2.mlstatic.com/D\\_NQ\\_NP\\_641433-MLB42267682466\\_062020-0.jpg](https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_641433-MLB42267682466_062020-0.jpg)

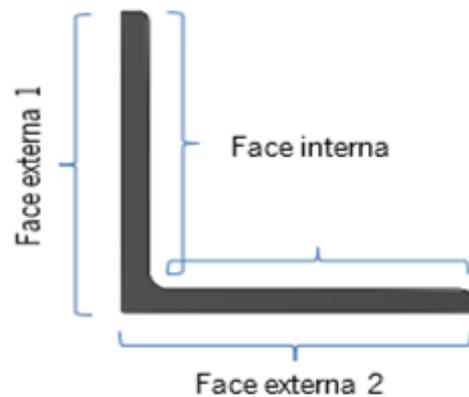


Figura 140: Nomeação das faces da cantoneira

## Vigas e Pilares

O primeiro passo para a concepção da estrutura foi a definição da disposição das vigas. A sua disposição é influenciada por fatores como o suporte da laje de piso, a ligação aos módulos vizinhos e a ligação a espaços comuns, tais como corredores. Para que tais ligações sejam viáveis, os perfis foram dispostos de modo que a face externa 1 (representada a laranja na figura 141) suporte a laje de piso e a face externa 2 (representada a verde na figura 141) estabeleça a ligação com as cantoneiras que constituem os módulos vizinhos.

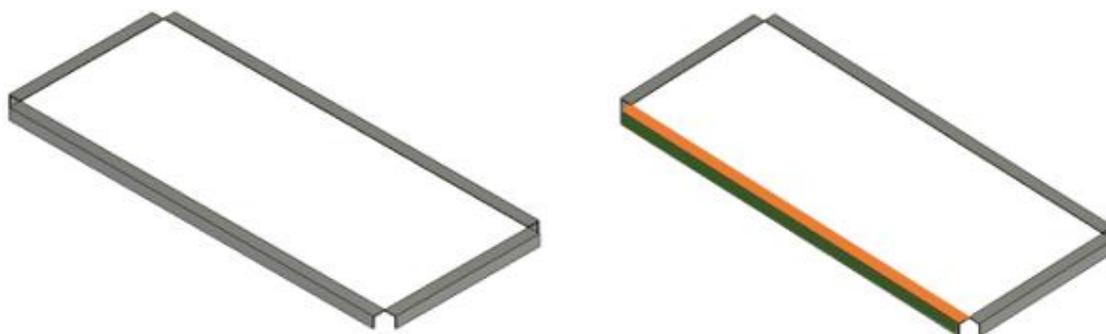


Figura 141: Disposição das vigas

De seguida foi estabelecida a disposição dos pilares. A disposição dos mesmos depende de fatores como a ligação aos módulos vizinhos e a ligação das duas vigas que compõem cada canto do módulo. Assim, ficou estabelecido que a melhor configuração seria a ligação das vigas de maior vão às faces externas do pilar e a ligação das vigas de menor vão às faces internas do pilar, tal como apresentado nos pormenores construtivos representados na figura 142. No entanto, para a concretização da ligação entre as vigas de menor vão e as faces internas dos pilares seria necessário um trabalho de chanfragem nas vigas para que as mesmas possam ser soldadas ao pilar. A figura 143 representa a estrutura resultante da soldagem entre vigas e pilares.

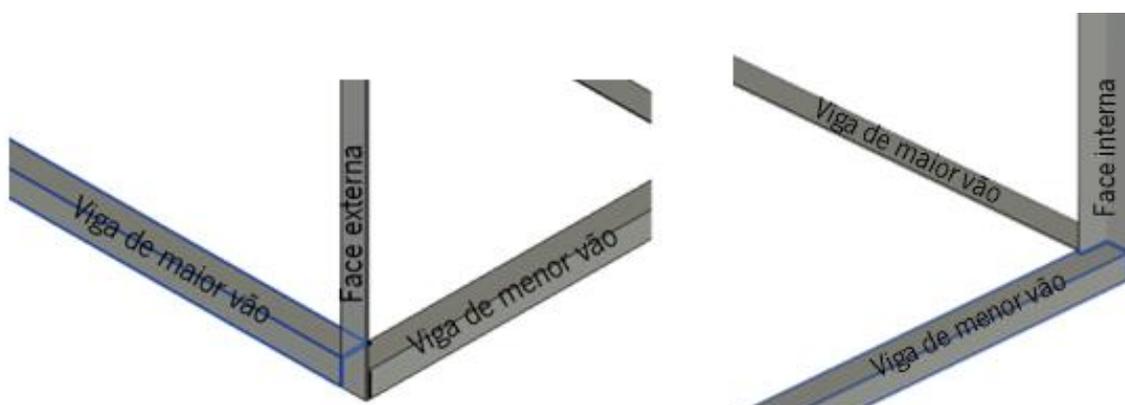


Figura 142: Pormenores construtivos

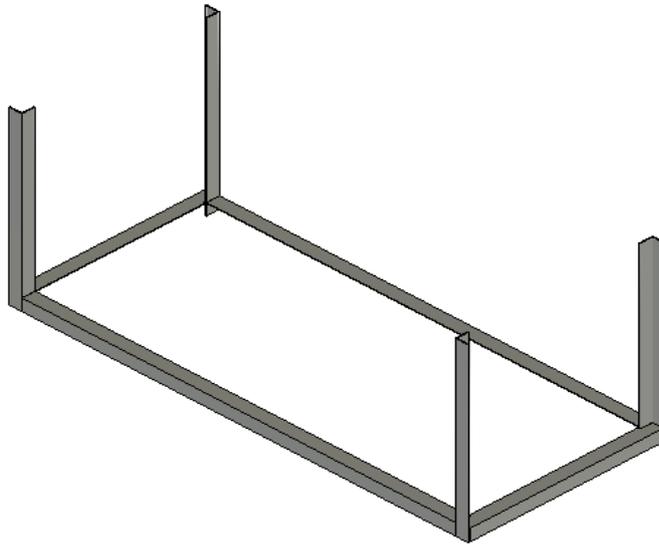


Figura 143: Estrutura resultante

O módulo de suíte, por não cumprir as dimensões regulamentadas para o seu transporte integral em camião, terá de ser dividido em 3 secções distintas (figura 144), nomeadamente uma secção alusiva à casa de banho e as restantes referentes ao espaço do quarto.

As vigas terão, então, que ser dispostas de modo que seja possível a conceção de ligações entre as diferentes secções do módulo e entre o módulo de suíte e os módulos vizinhos. Já os pilares terão que ser dispostos de modo que seja possível a concretização da ligação entre as diferentes vigas, de ligações entre as diferentes secções e entre o módulo de suíte e os módulos vizinhos. É possível verificar que a disposição dos elementos estruturais adotada no módulo comum será também válida para o módulo de suíte.

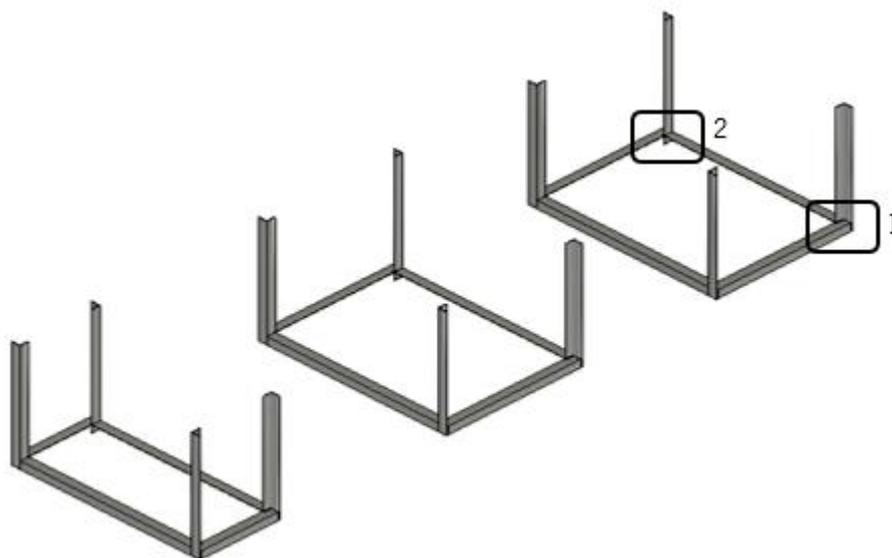


Figura 144: Secções do módulo de suite

Pelos pormenores construtivos apresentados nas imagens acima é possível notar que as ligações das vigas aos pilares do módulo de suite são efetuadas de forma semelhante às ligações do módulo comum, ou seja, as vigas de menor vão, após chanfragem, são soldadas à face interna do pilar (figura 145) e as vigas de maior vão são soldadas à face externa do pilar (figura 146).

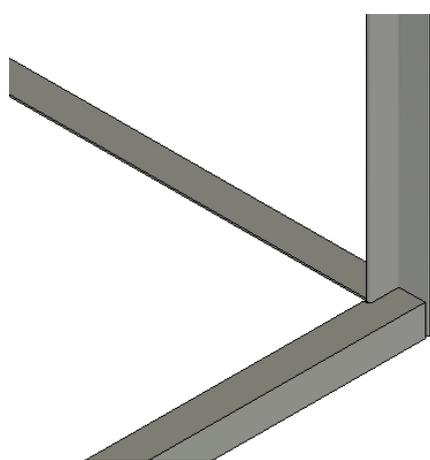


Figura 145: Pormenor construtivo 1

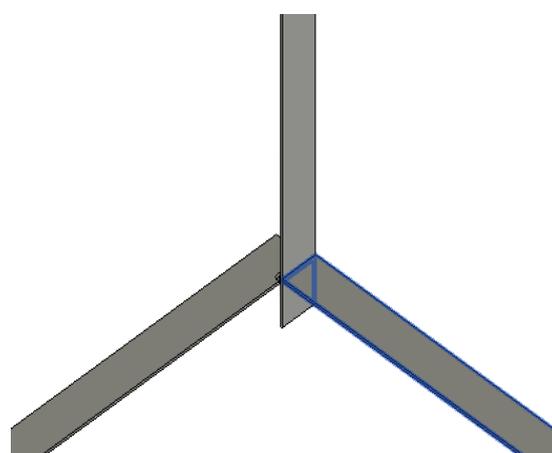


Figura 146: Pormenor construtivo 2

Na figura 147 encontram-se representadas as estruturas resultantes, tanto de módulo comum (à esquerda) como de módulo de suite (à direita).

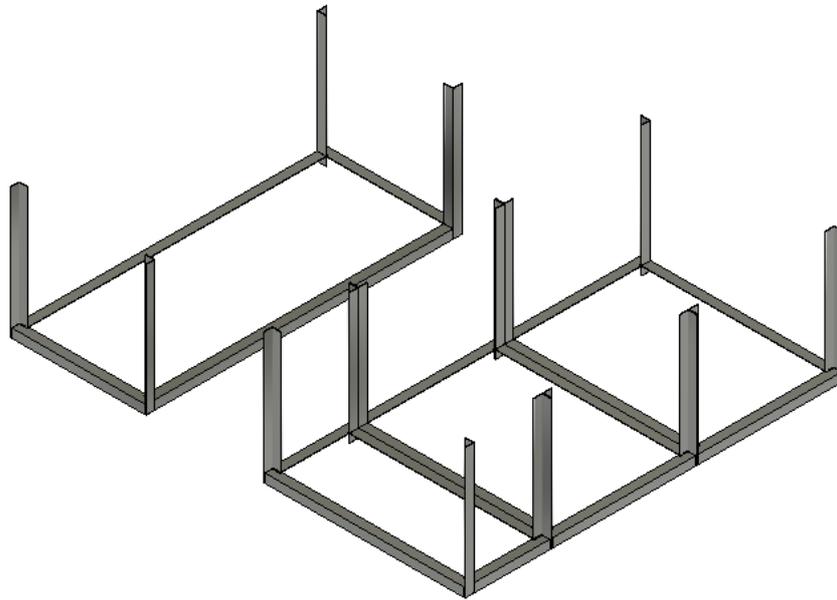


Figura 147: Estruturas resultantes

### **Pilares secundários**

A estrutura principal não apresenta vãos de enorme dimensão, no entanto, de modo a aumentar a rigidez e a estabilidade da estrutura optou-se pela colocação de pilares secundários nas vigas de maior vão dos módulos e das secções que compõem o módulo de suite.

Os pilares secundários, que serão aparafusados às vigas, servirão como um segundo elemento de ligação entre os diferentes módulos, ou seja, para além da ligação entre cantoneiras haverá também ligação, através de soldadura, entre estes pilares.

Para além disto, suportarão a conexão dos tirantes de aço de contraventamento e reduzirão os fenómenos de encurvadura a que os pilares principais poderiam estar sujeitos, uma vez que este fenómeno ocorre em peças esbeltas que estão sujeitas a um esforço de compressão axial. Deste modo conseguir-se-á uma estrutura global com maior estabilidade e rigidez.

O perfil seleccionado foi um perfil tubular retangular (figura 149), cujas características (figura 148) se encontram detalhadas abaixo:

- $h = 80 \text{ mm}$ ;
- $b = 40 \text{ mm}$ ;
- $t = 2 \text{ mm}$ ;
- $G = 3,56 \text{ kg/m}$
- $A = 4,54 \text{ cm}^2$

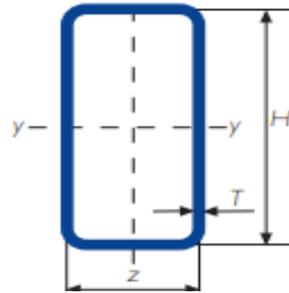


Figura 148: Características do perfil tubular

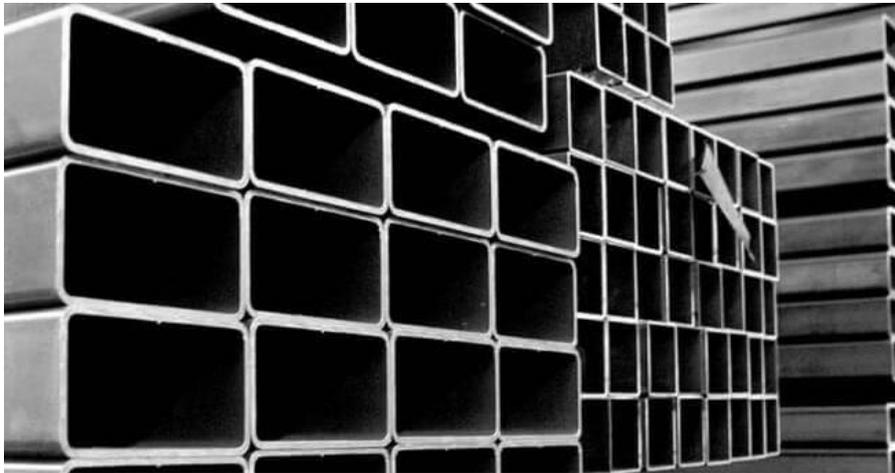


Figura 149: Perfil tubular retangular

<https://centurytubos.com.br/wp-content/uploads/2020/02/perfis-de-aco.jpg>

Será, portanto, colocado um pilar tubular retangular em cada viga de maior vão dos módulos comuns, mais especificamente a meio vão, um pilar adjacente à janela e outro à porta, situados nas vigas de menor vão, de modo a permitir a união dos tirantes de aço (figura 150).

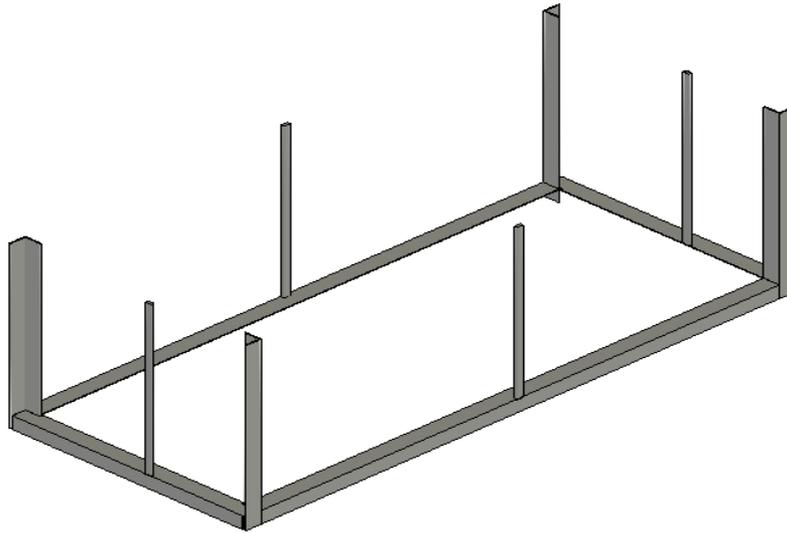


Figura 150: Estrutura resultante

No entanto, tal disposição não se verifica em todos os módulos. Estas exceções são o módulo de suite e, conseqüentemente, os módulos que a ele se avizinham. O módulo de suite encontra-se delimitado por dois módulos, sendo um deles situado à sua esquerda e outro no topo superior. Dispondo o módulo de suite e o módulo da sua esquerda lado a lado obtemos uma estrutura semelhante à representada na figura 151.

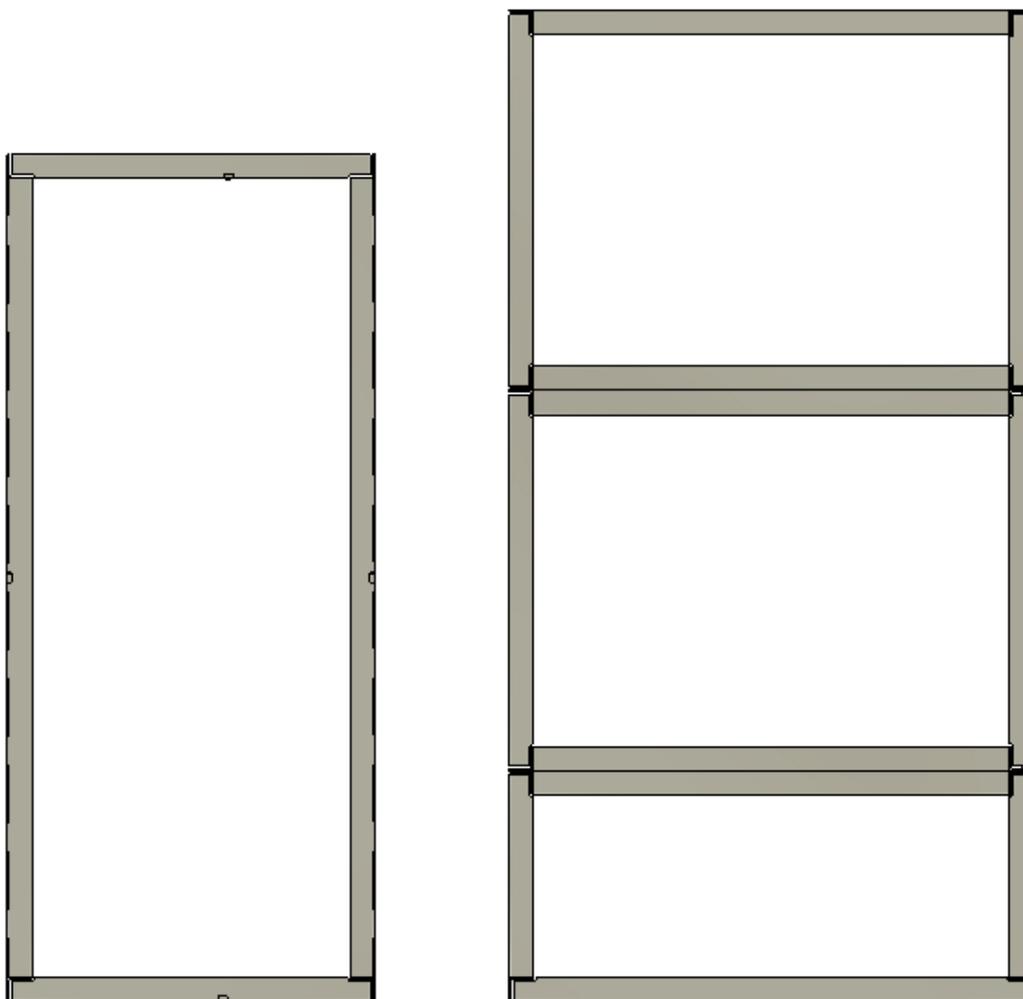


Figura 151: Posicionamento do módulo comum e de suíte lado a lado

O módulo de suíte, quando completo, é uma estruturas de grandes dimensões e por isso necessita de mais elementos estruturais para a tornar segura e lhe conferir um comportamento monolítico.

A colocação dos pilares tubulares do módulo de suíte depende, neste caso, da disposição dos pilares principais e secundários do módulo comum. Então, para a obtenção de uma estrutura firme, optou-se pela colocação, no módulo de suíte, de um pilar secundário no alinhamento da cantoneira do módulo comum e um pilar secundário no alinhamento do pilar secundário do módulo comum, ou seja, estes módulos serão unidos com recurso a três tipos de ligações, nomeadamente ligações entre cantoneira do módulo comum e pilar secundário do módulo de suíte (solução 1), pilar secundário do módulo comum e pilar secundário do módulo de suíte (solução 2) e, finalmente, união entre cantoneira do módulo comum e cantoneira do módulo de suíte (solução 3) (figura 152).

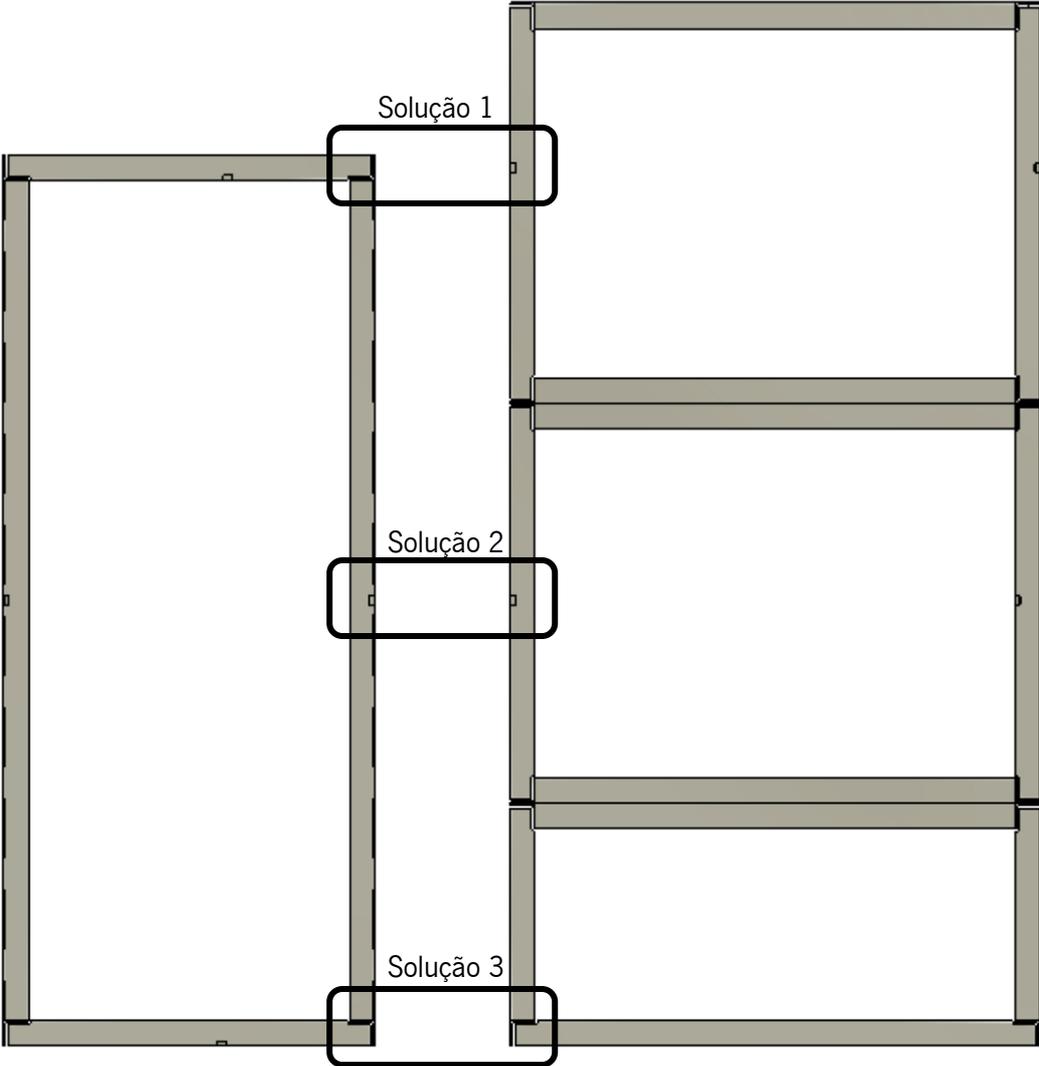


Figura 152: Soluções para ligações entre os módulos

Dispondo agora, lado a lado, o módulo de suite e o módulo do topo superior obtemos uma estrutura semelhante à representada na figura 153.

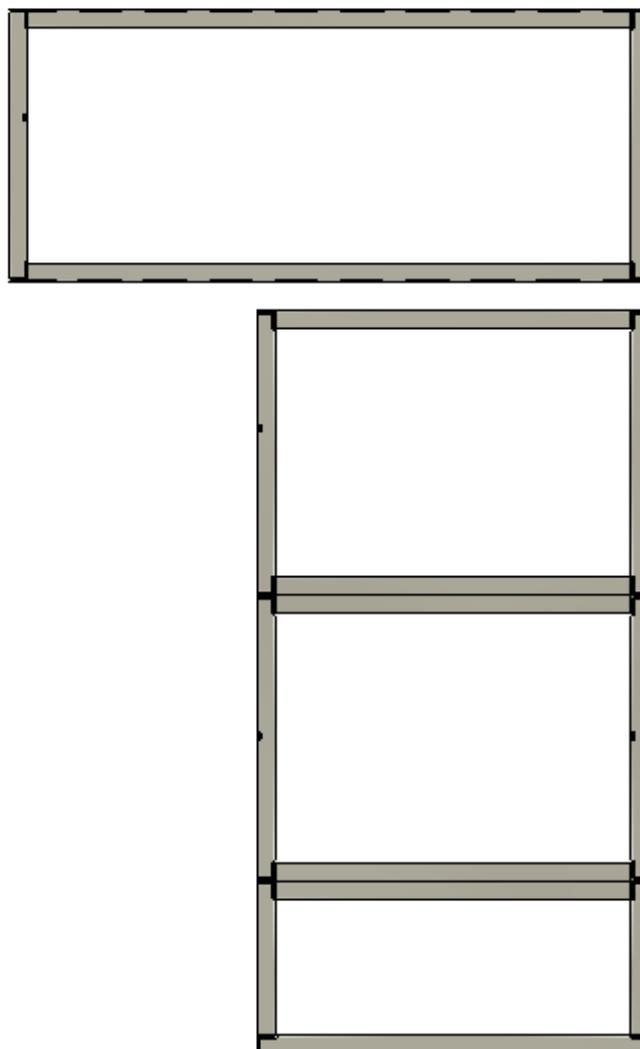


Figura 153: Disposição do módulo comum do módulo de suite

Seguindo o conceito da decisão construtiva anteriormente adotada, optou-se pela colocação de um pilar secundário, no módulo comum, no alinhamento da cantoneira do módulo de suite, isto é, estes módulos serão unidos com recurso a dois tipos de ligações, nomeadamente ligações entre cantoneira do módulo de suite e pilar secundário do módulo comum (solução 1) e cantoneira do módulo comum e cantoneira do módulo de suite (solução 2) (figura 154).

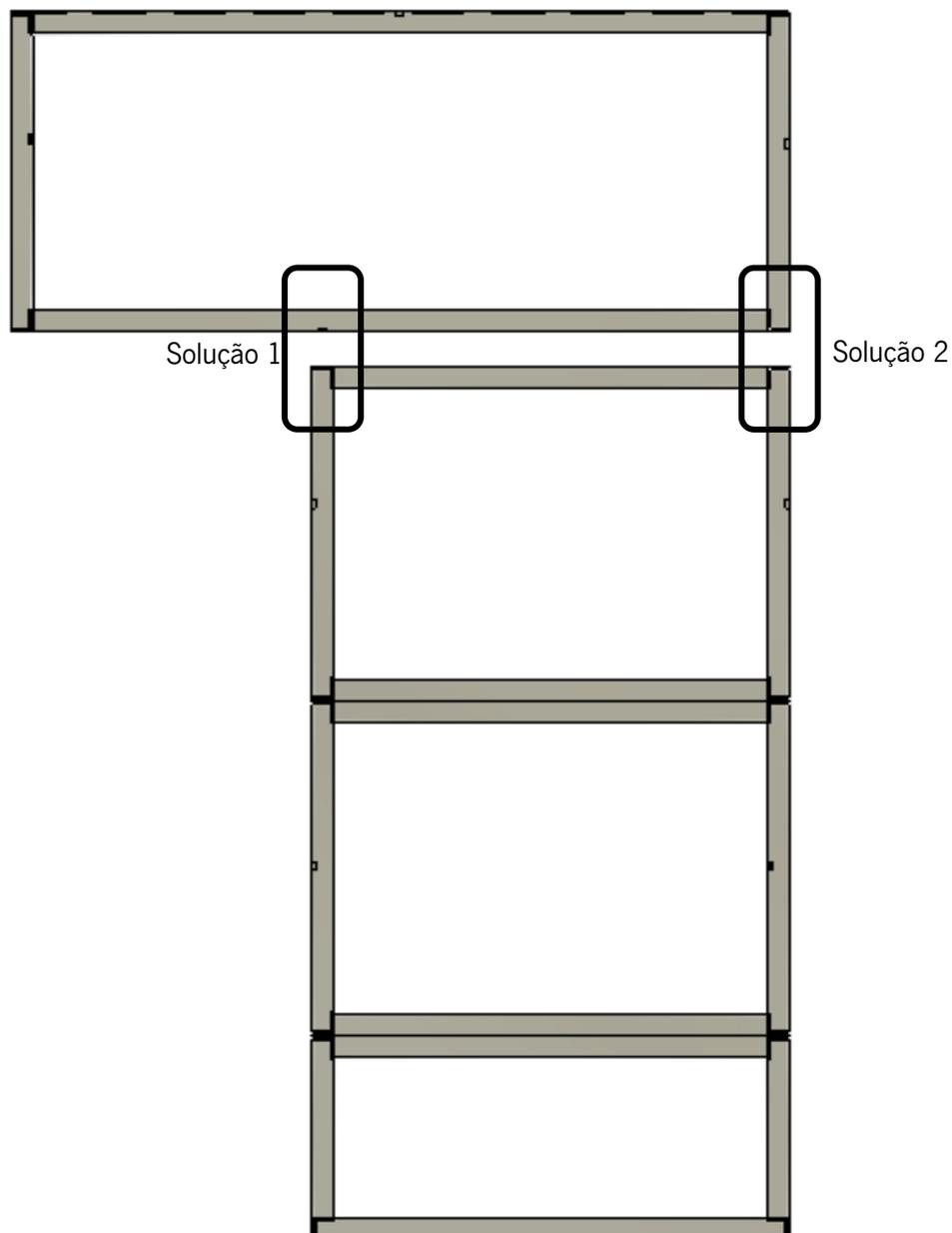


Figura 154: Soluções para ligações entre módulos

### **Tirantes de aço**

Aquando do dimensionamento de uma estrutura são normalmente contabilizados os efeitos das ações permanentes, como o peso próprio da estrutura e dos materiais de revestimento, e os efeitos das ações variáveis, nomeadamente sobrecargas em pavimentos, vigas ou coberturas e os efeitos de carácter atmosférico e ambiental como o vento ou a neve.

No presente caso, o edifício hoteleiro encontra-se construído em altura estando assim exposto aos efeitos do vento. De modo a suavizar os impactos provocados pelo mesmo decidiu-se pela colocação de tirantes de aço para contraventamento. Para além de amenizar os efeitos do vento acaba por aumentar a rigidez

e a estabilidade da estrutura e por diminuir os efeitos de torção provocados pela elevação do módulo, por meio de uma grua, desde o meio de transporte até ao local de montagem.

Os contraventamentos foram realizados de forma total nos módulos (figura 155), ou seja, em todas as paredes do mesmo foram colocados cabos de aço. Esta solução é apenas conceptual podendo encontrar-se sobredimensionada, o que se torna vantajoso relativamente à parte da segurança, mas desvantajoso em termos de custos. No entanto, com a adequada análise e dimensionamento é possível fazer uma otimização da solução e, assim, reduzir aos materiais e aos custos.

A solução encontrada foi a colocação de cabos de aço de 12 mm em forma de X. Apesar de nas imagens apresentadas abaixo se apresentar uma representação genérica dos tirantes, a conexão dos mesmos à estrutura é feita com o olhal roscado com pino. No entanto, para que o tirante pudesse realmente ser eficaz, foi necessária a instalação de vigas de bordadura, as quais são soldadas ao topo dos pilares principais e secundários (pormenor construtivo da figura 155). As vigas de bordadura consistem em perfis tubulares retangulares de dimensões semelhantes às dos pilares secundários.

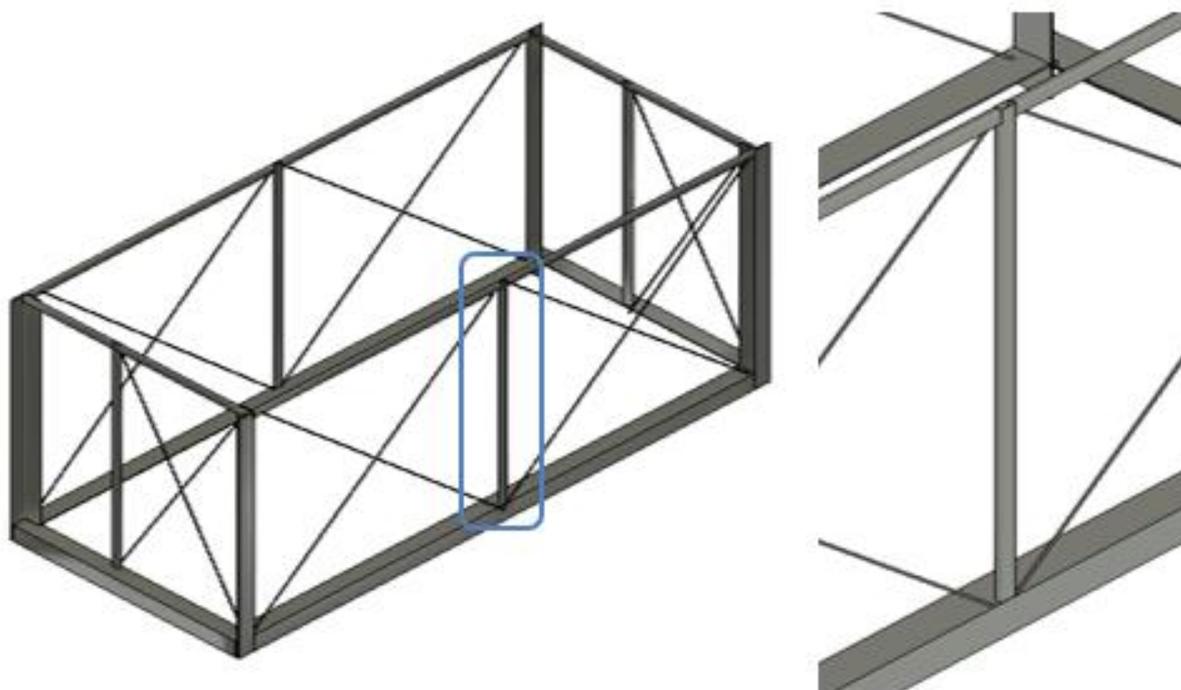


Figura 155: Contraventamento total no módulo (à esquerda) e pormenor construtivo (à direita)

### **Chapas de apoio**

Finalmente, e para finalizar a conceção do módulo, decidiu-se pela colocação de chapas de apoio no topo dos pilares dos módulos.

Os módulos, para além de serem dispostos lado a lado e unidos entre si, são também sobrepostos de forma a gerar os quatro pisos de alojamentos que constituem a unidade hoteleira. As chapas de apoio, localizadas nos topos superior e inferior dos módulos (figura 156), servem como base para o assentamento dos módulos, ou seja, aquando da assemblagem, as chapas de apoio dos topos inferiores dos pilares do módulo ficam apoiadas nas chapas de apoio dos topos superiores do módulo abaixo (pormenor construtivo da figura 156).

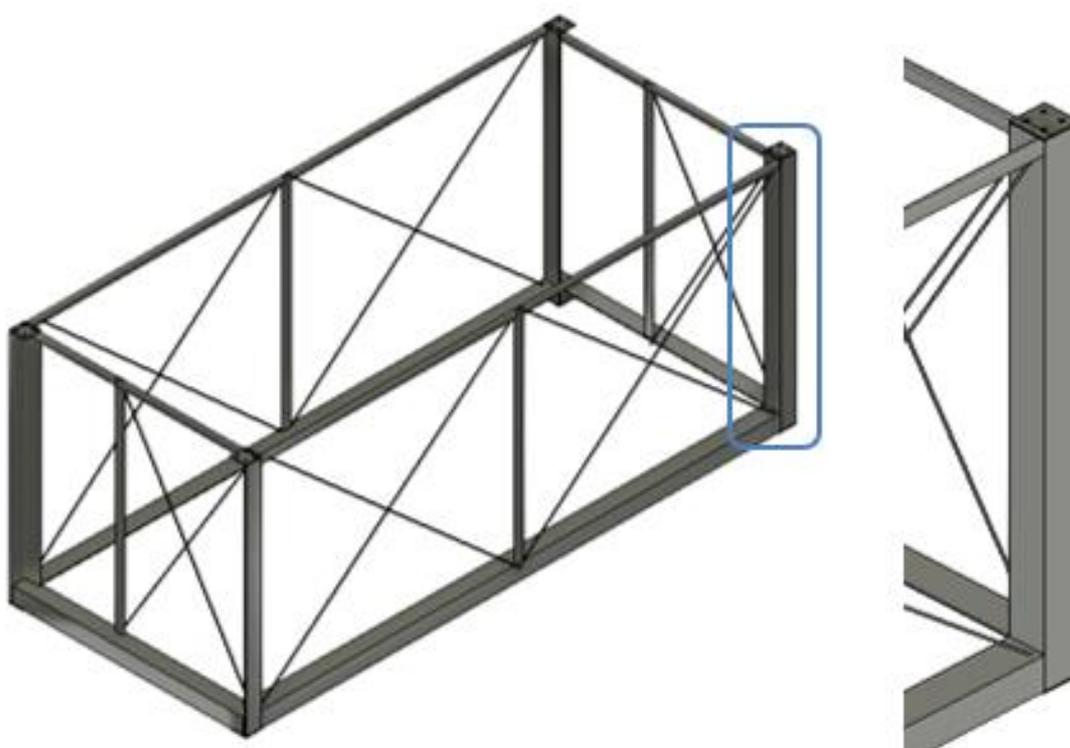


Figura 156: Chapas de apoio nos pilares do módulo (à esquerda) e pormenor construtivo (à esquerda)

As chapas de apoio apresentam uma forma quadrada com 20 cm de lado e 1 cm de espessura (figura 157). A conexão entre as chadas de apoio e a respetiva estrutura é executada através de soldadura, no entanto a ligação chapa a chapa é efetuada por ligação aparafusada, tratando-se então de uma chapa de apoio perfurada.



Figura 157: Chapa de apoio

A tabela 8 consiste numa tabela resumo, comparando os elementos estruturais utilizados no projeto de construção *in-situ* e os elementos estruturais do projeto de construção modular.

Tabela 8: Tabela resumo com os elementos estruturais utilizados para cada projeto (continua)

Elementos estruturais do projeto de construção “ <i>in-situ</i> ”		Elementos estruturais do projeto de construção modular	
Vigas	Secção retangular	Vigas	Cantoneira/Perfil L
	Em betão armado		Estrutura metálica
	Bases a variar entre 0,15 e 0,25 m		Base e altura de 200 mm
	Alturas a variar entre 0,41 e 1,45 m		Espessura de 15 mm
Pilares	Secção retangular	Pilares	Cantoneira/Perfil L
	Em betão armado		Estrutura metálica
	Comprimentos a variar entre 0,20 e 1 m		Base e altura de 200 mm
	Larguras a variar entre 0,20 e 0,90 m		Espessura de 15 mm
Laje	Laje aligeirada	Laje	Laje em CLT
	30 cm de espessura		29 cm de espessura
-	-	Pilares secundários	Perfil tubular retangular
	-		Altura de 80 mm
	-		Base de 40 mm
	-		Espessura de 2 mm
-	-	Vigas de bordadura	Perfil tubular retangular
	-		Altura de 80 mm
	-		Base de 40 mm
	-		Espessura de 2 mm

Tabela 8: Tabela resumo com os elementos estruturais utilizados para cada projeto (continuação)

-	-	Tirantes de aço	Cabos de aço
	-		12 mm de espessura
-	-	Chapas de apoio	Forma quadrada
	-		10 mm de espessura

### 3.3.6. Assemblagem e construção

Finalizada a conceção estrutural do módulo é importante verificar se os modelos estão em conformidade e que as ligações são concretizadas com sucesso. Para isso foram procedeu-se à assemblagem das três secções que compõem o módulo de suite e dispuseram-se, lado a lado, dois módulos comuns, o módulo de suite e respetivos módulos vizinhos e sobrepuseram-se também dois módulos comum.

#### Módulo de Suite

O módulo de suite, por questões regulamentares, não pode ser transportado em camião como um módulo completo, acabando por ser dividido em três secções que em obra serão assembladas de modo a criar um alojamento único (figura 158). A primeira secção, de menores dimensões, consiste na casa de banho e as restantes secções, de dimensões idênticas, constituirão o quarto (figura 159).

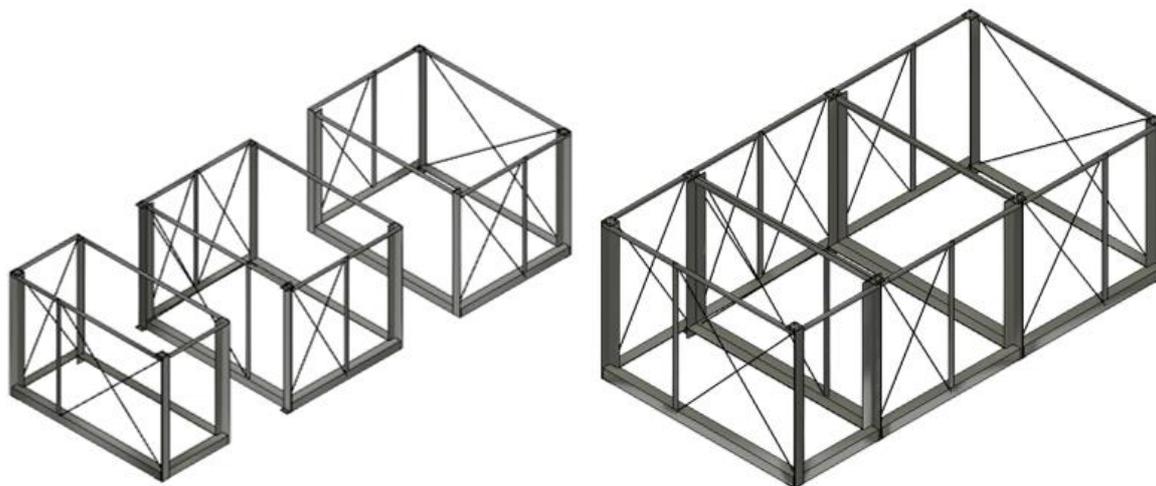


Figura 158: Módulo de suite seccionado (à esquerda) e módulo de suite assemblado (à direita)

As uniões entre os elementos, nomeadamente vigas, pilares e pilares secundários, é realizada maioritariamente através de soldadura, no entanto, a ligação entre elementos principais é realizada com ligação soldada e aparafusada. (tabela 7).

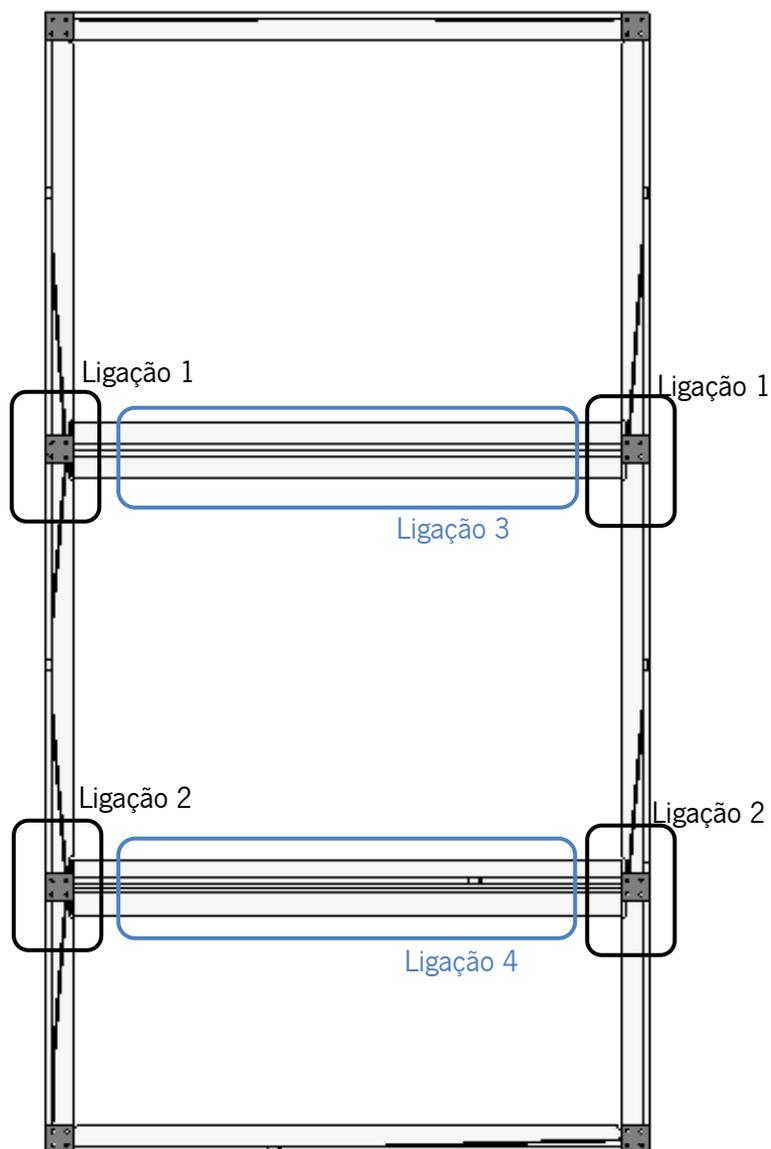


Figura 159: União entre os elementos para criação do módulo

Tabela 9: Diferentes tipos de ligação a realizar entre os elementos

Ligação	Tipo de ligação	Ligação entre elementos
1	Soldada e Aparafusada	Pilar principal → Pilar principal
2		Pilar principal → Pilar principal
3		Viga → Viga
4		Viga → Viga

### Assemblagem lado a lado

Dispondo os módulos comuns lado a lado (figura 160) é possível notar que, tanto as vigas como os pilares principais e secundários, ficam em contacto. A ligação entre elementos principais e secundários é realizada com soldadura, já a ligação entre elementos principais recorre tanto a ligação soldada como aparafusada (tabela 8).

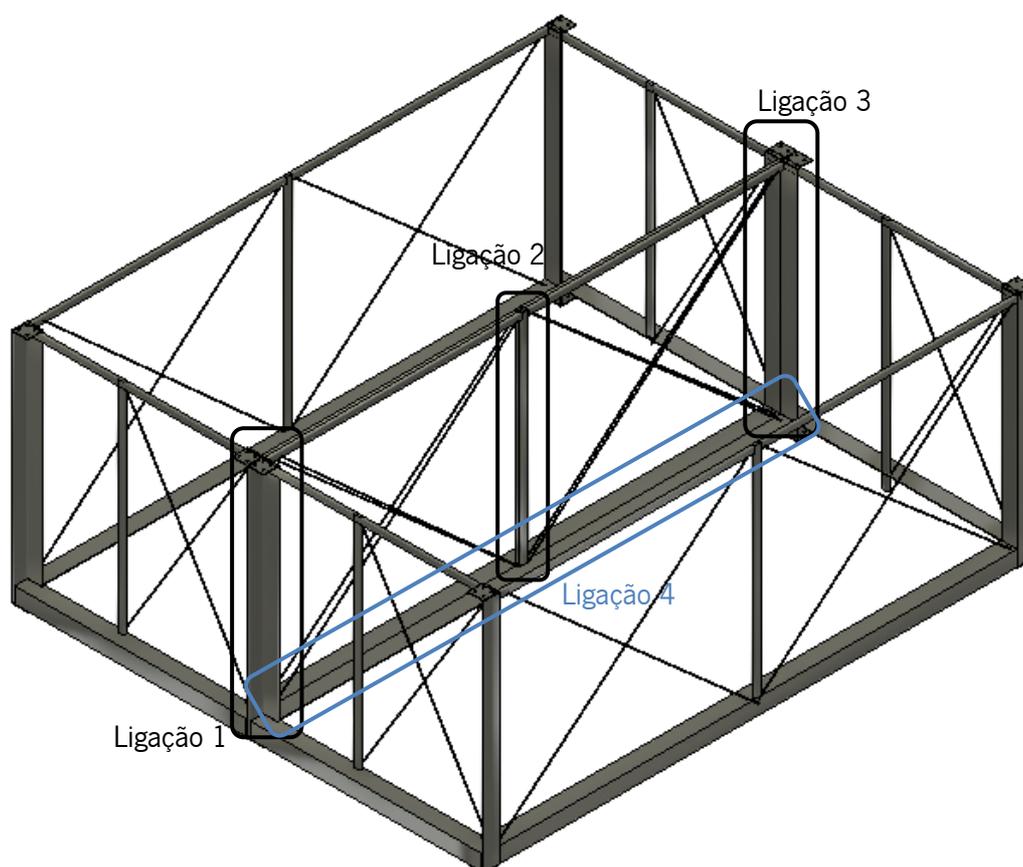


Figura 160: Disposição dos módulos lado a lado

Tabela 10: Diferentes tipos de ligação a realizar entre os elementos

Ligação	Tipo de ligação	Ligação entre elementos
1	Soldada e aparafusada	Pilar principal → Pilar principal
2	Soldada	Pilar secundário → Pilar secundário
3	Soldada e aparafusada	Pilar principal → Pilar principal
4		Viga → Viga

O módulo de suíte está delimitado por dois módulos comuns e, quando visto em planta, um dos módulos comuns, com orientação vertical, está localizado à sua esquerda e alinhado à parte inferior e o outro, com orientação horizontal, encontra-se na alinhado ao topo superior do módulo de suíte (figura 161). Para que todos os elementos estruturais se pudessem interligar foi necessária a alteração da disposição, por exemplo, do pilar secundário do módulo comum que se encontra no topo do módulo de suíte, alteração esta já analisada na secção “Pilares secundários” (figura 162). O tipo de ligação executada encontra-se especificada na tabela 9.

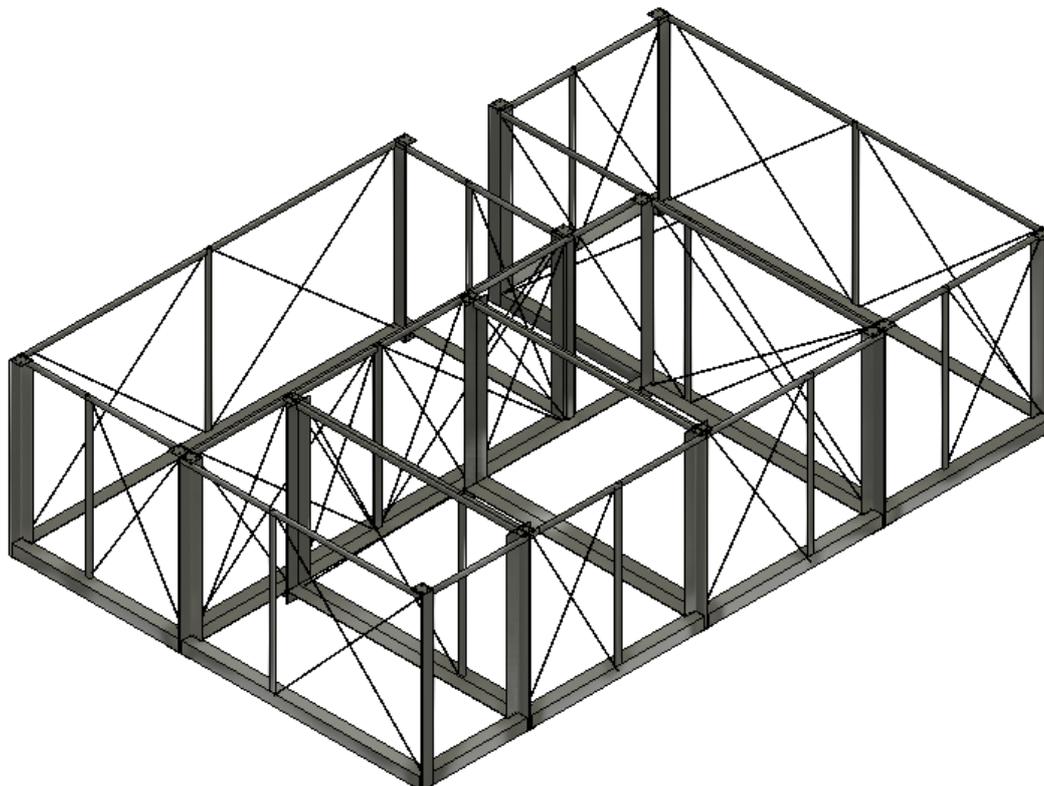


Figura 161: Disposição dos módulos vizinhos ao módulo de suíte

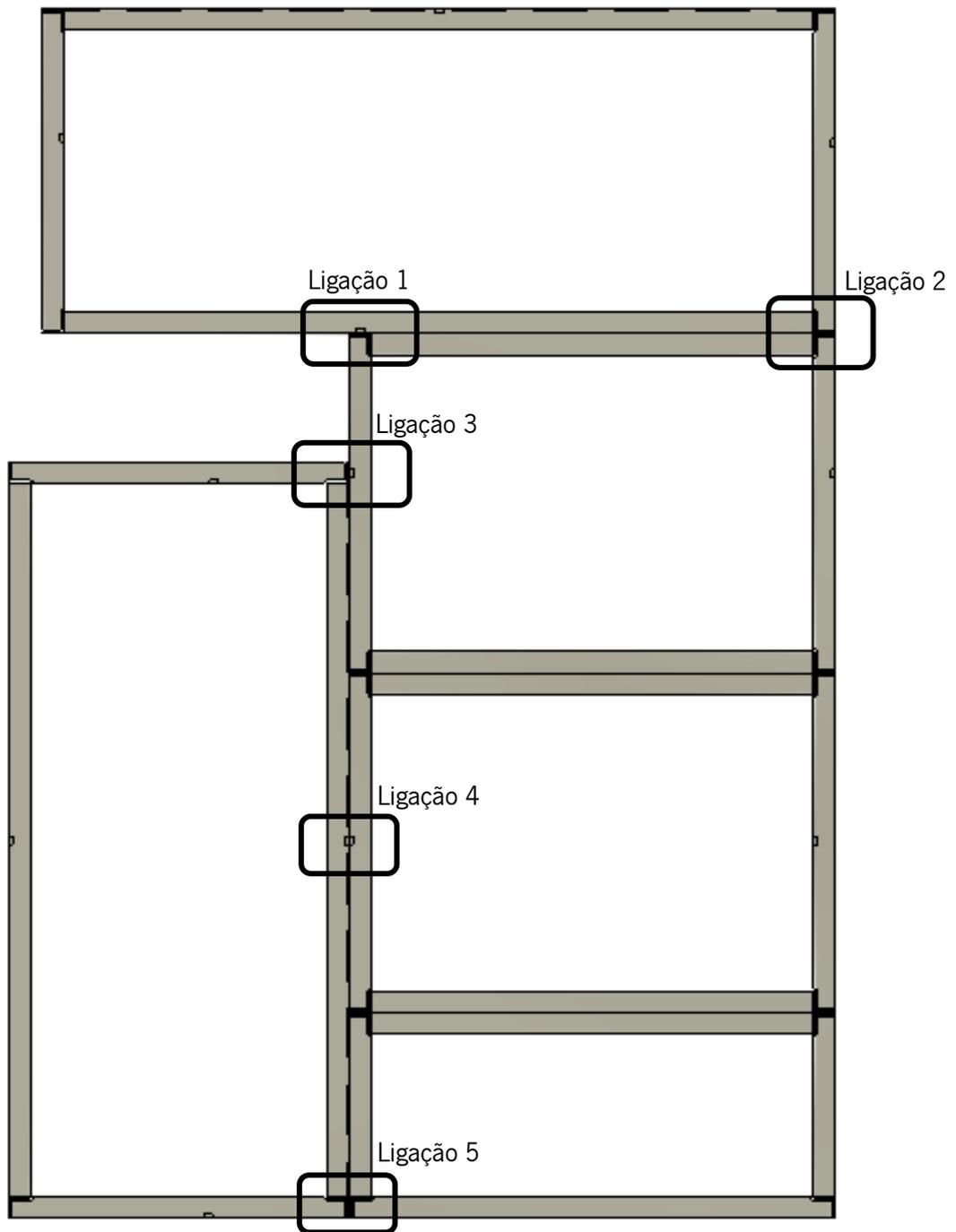


Figura 162: Ligaçao do módulo de suite aos módulos vizinhos

Tabela 11: Tipos de ligação entre os módulos comuns e os módulos de suite

<b>Ligação</b>	<b>Tipo de ligação</b>	<b>Ligação entre elementos</b>
1	Soldada e aparafusada	Pilar principal → Pilar secundário
2		Pilar principal → Pilar principal
3	Soldada	Pilar principal → Pilar secundário
4		Pilar secundário → Pilar secundário
5	Soldada e aparafusada	Pilar principal → Pilar principal

### **Assemblagem por sobreposição**

Finalmente, e para última análise, sobrepuseram-se dois módulos comuns para verificar se a ligação dos módulos em altura, ou seja, entre os diferentes pisos ficaria estabelecida. A estrutura resultante encontra-se representada na figura 163.

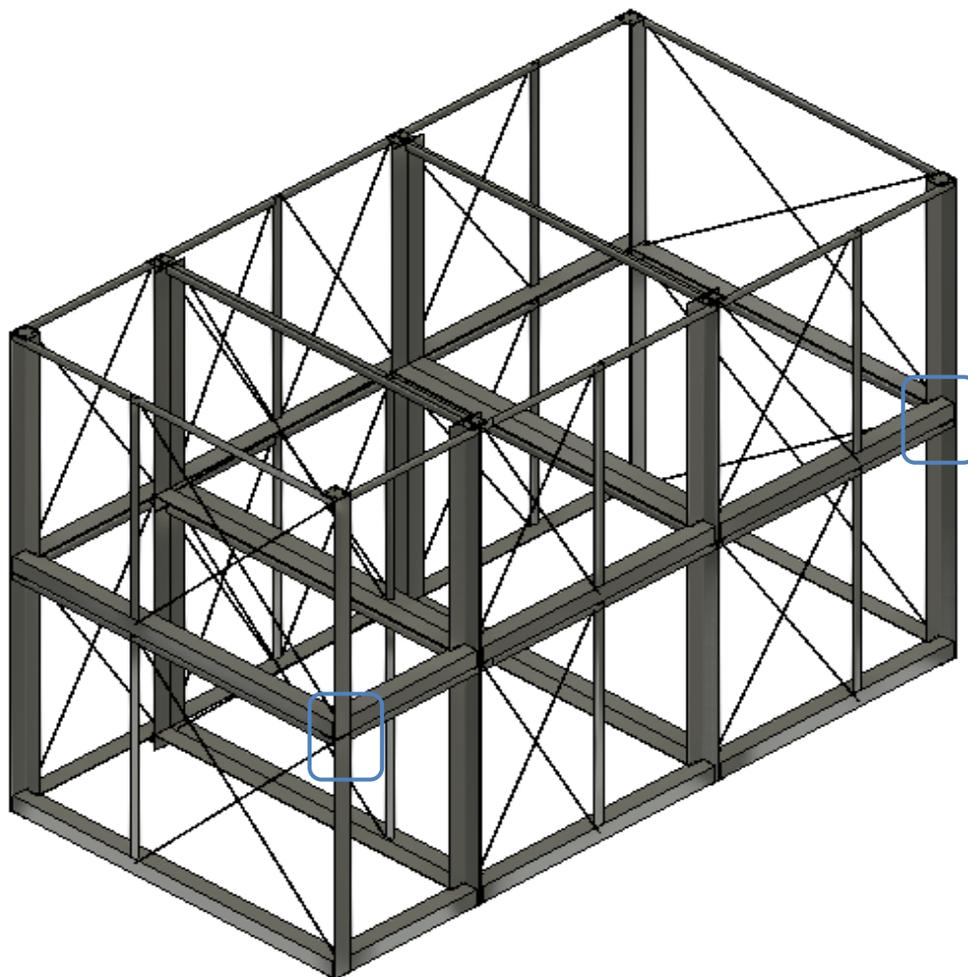


Figura 163: Assemblagem dos módulos por sobreposição

Como ficou definido no sub-capítulo anterior os módulos incorporariam chapas de apoio perfuradas de geometria quadrada, com 1 cm de espessura, soldadas aos topos inferior e superior dos pilares principais. Então, ao realizar a sobreposição dos módulos, as chapas de apoio instaladas no topo inferior do pilar do módulo superior irão assentar nas chapas de apoio integradas no topo superior do pilar do módulo inferior, tal como é possível verificar nos pormenores abaixo (figura 164). A união entre as chapas é efetuada com parafusos.

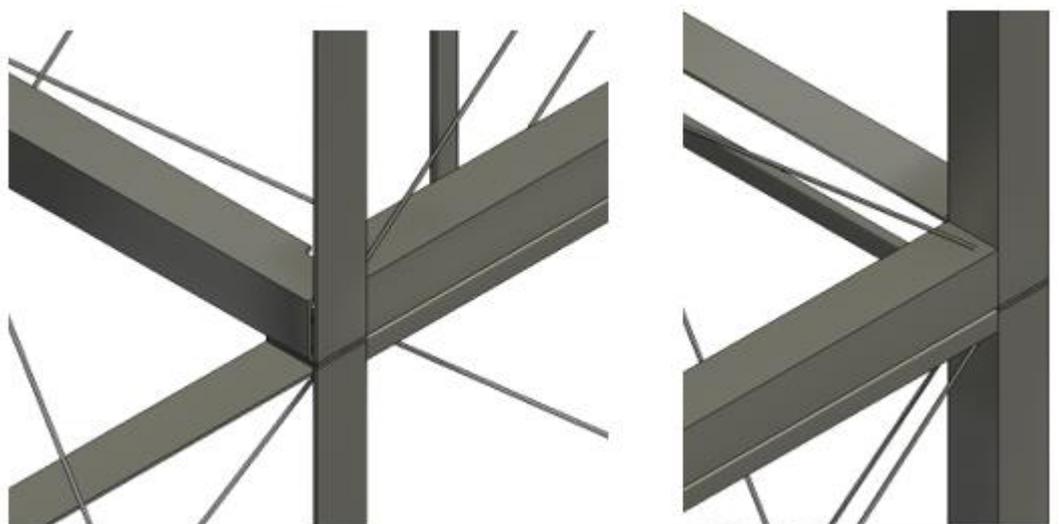


Figura 164: Pormenores construtivos do assentamento das chapas

### 3.3.7. Modelação integral do módulo

O presente capítulo consiste no faseamento construtivo dos módulos, ou seja, será feita a modelação integral do módulo, descrevendo os diferentes passos para a sua conceção. Será modelado desde a parte estrutural até aos acabamentos, com referência aos trabalhos que serão feitos em fábrica e em obra e à necessidade de integração de instalações como as redes de abastecimento e drenagem de águas e redes de renovação do ar. O módulo será maioritariamente construído em fábrica e, após transporte, será terminado no local da obra.

Após a escolha dos materiais que serviriam de pilar e vigas da estrutura, o primeiro passo para a conceção do módulo foi a disposição das vigas e dos pilares de modo que satisfizessem todas as exigências de conexão aos módulos vizinhos e à laje de piso (figura 165). Para tal, optou-se pela utilização de perfis metálicos em L ou cantoneiras.

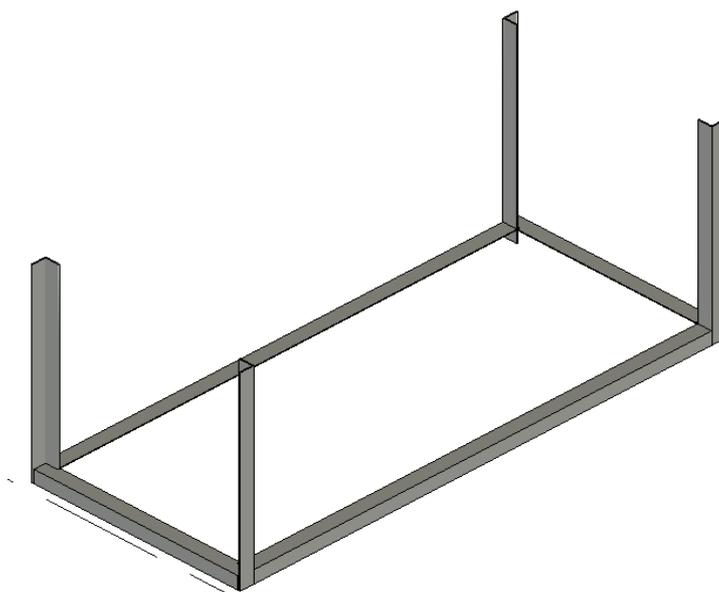


Figura 165: Primeiro passo para a concepção do módulo

De seguida instalaram-se os pilares secundários, cuja função é consolidar, tornar a estrutura mais robusta e resistente, por exemplo, a efeitos de encurvadura e suportar os tirantes de aço que serão colocados posteriormente. Foram colocados pilares nas vigas de maior vão, que serão soldados aos pilares das estruturas que se lhe avizinham, e junto das aberturas onde se colocarão a porta e a janela (figura 166). Os pilares consistem em perfis tubulares retangulares com 8 cm de altura, 4 cm de base e 2 mm de espessura.

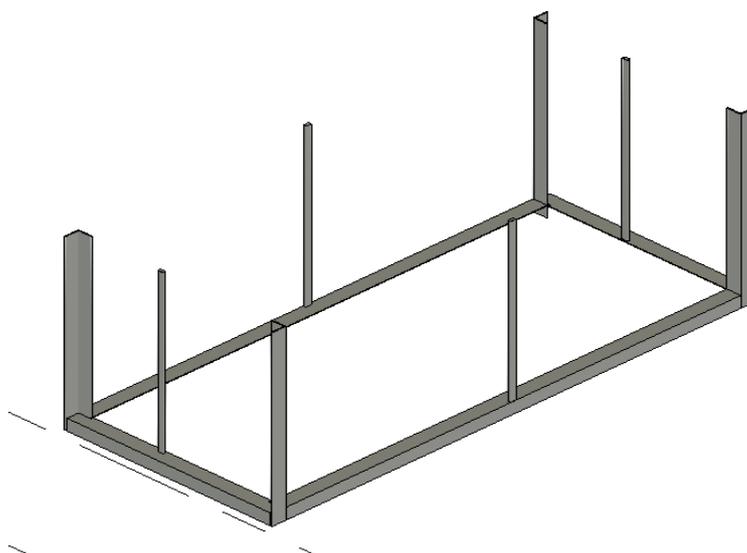


Figura 166: Instalação dos pilares secundários

O passo seguinte consistiu na soldagem de vigas de bordadura entre os topos superiores dos pilares principais e os topos superiores dos pilares secundários, de modo a garantir o funcionamento dos tirantes

de contraventamento e a resistência da estrutura às ações horizontais a que pode estar sujeita. Os tirantes, dispostos em X, tratam-se de cabos de aço de 12 mm cuja conexão à estrutura é feita com o olhal roscado com pino. Já as vigas de bordadura são perfis tubulares retangulares com as mesmas dimensões dos pilares secundários.

Finalmente, foram colocadas chapas de apoio nos topos superior e inferior dos pilares principais, funcionando como base de assentamento aos módulos que serão sobrepostos (figura 167). Estas têm geometria quadrada, 1 cm de espessura, e apresentam perfurações, pois a ligação entre os módulos sobrepostos é consumada através de parafusos.

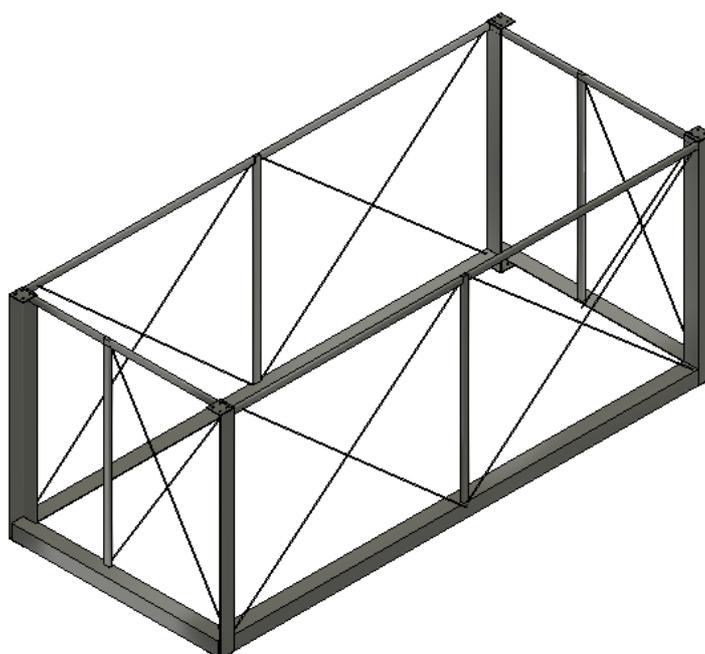


Figura 167: Estrutura com as vigas de bordadura, tirantes e chapas de apoio

Com a estrutura metálica concluída procede-se à colocação da laje estrutural de piso (figura 168). Esta trata-se de uma laje de madeira CLT ("*Cross Laminated Timber*") com espessura de 29 cm. De modo a reduzir a transmissão dos sons de percussão/impacto e a garantir os valores regulamentados para o conforto acústico foi incorporada uma manta absorvente, com 1 cm de espessura, na laje CLT, ou seja, a laje é constituída por duas camadas de madeira, de diferentes espessuras, e uma manta acústica entre as camadas (figura 169).

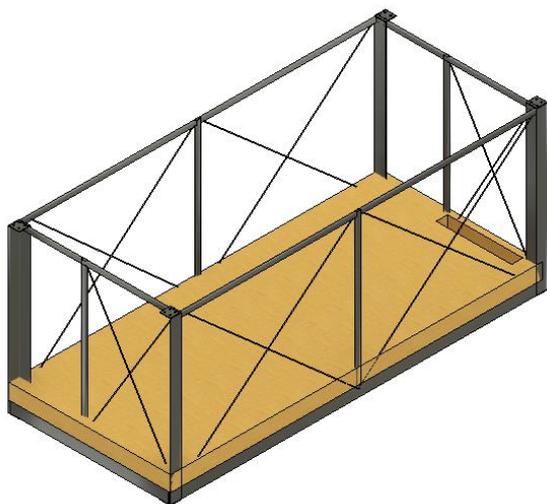


Figura 168: Laje de piso com abertura para corete

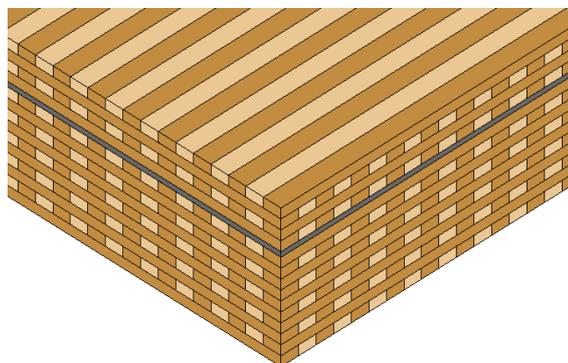


Figura 169: Representação do piso CLT com manta integrada

O passo seguinte é então o levantamento das paredes. Os materiais que constituem as paredes são materiais leves e de baixa espessura e, quando combinados, devem garantir os isolamentos térmico e acústico adequados a uma unidade hoteleira, de modo a proporcionar uma sensação de conforto ao ocupante do alojamento.

No processo de levantamento das paredes é de hábito comum a execução das instalações elétricas ou outras instalações técnicas necessárias isto porque, quando se tratam de paredes constituídas por placas de gesso cartonado, a estrutura metálica que suporta as placas contém uns orifícios que possibilitam a circulação de cabos ou tubagens (figura 170). Assim, na execução das paredes do módulo em fábrica, já serão efetuadas as instalações elétricas, incluindo a colocação de interruptores e tomadas, iluminação, redes de abastecimento de água para a casa de banho e também abertos os orifícios para inserção das janelas e das portas.



Figura 170: Esquemática dos constituintes da parede de gesso cartonado

<https://i0.wp.com/renovarcasas.pt/wp-content/uploads/2018/04/drywall-11-1.jpg?fit=700%2C525&ssl=1>

O módulo é delimitado por diversas paredes, nomeadamente a parede divisória, a parede de casa de banho, a parede de corte e a parede de fachada, tal como apresentadas na figura 171.

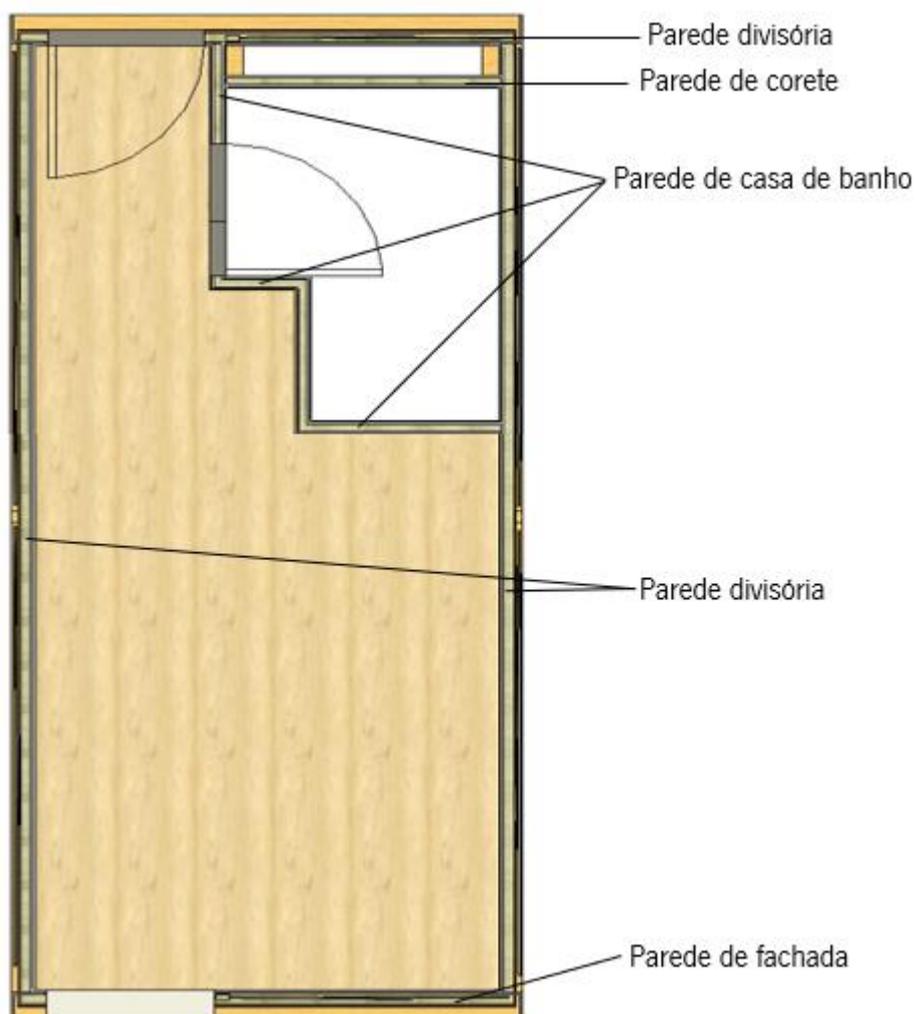


Figura 171: Tipos de paredes que delimitam os módulos

Os materiais que constituem cada tipo de parede encontram-se detalhados na secção “Definição dos materiais”, no entanto, há alguns aspetos relativos à construção das paredes que devem ser mencionados.

Quando transportados para o local da obra, os módulos já se encontram com as paredes eretas e, para evitar a rutura dos materiais, optou-se pela colocação de uma placa OSB como acabamento externo das paredes, ou seja, a parede divisória (figura 172) que alberga a porta principal terá de ser terminada em obra com a colocação de uma placa de gesso cartonado como acabamento. Para além disto, esta parede deverá ter painéis removíveis para permitir o acesso à corete, caso seja necessário efetuar reparações ou manutenções.

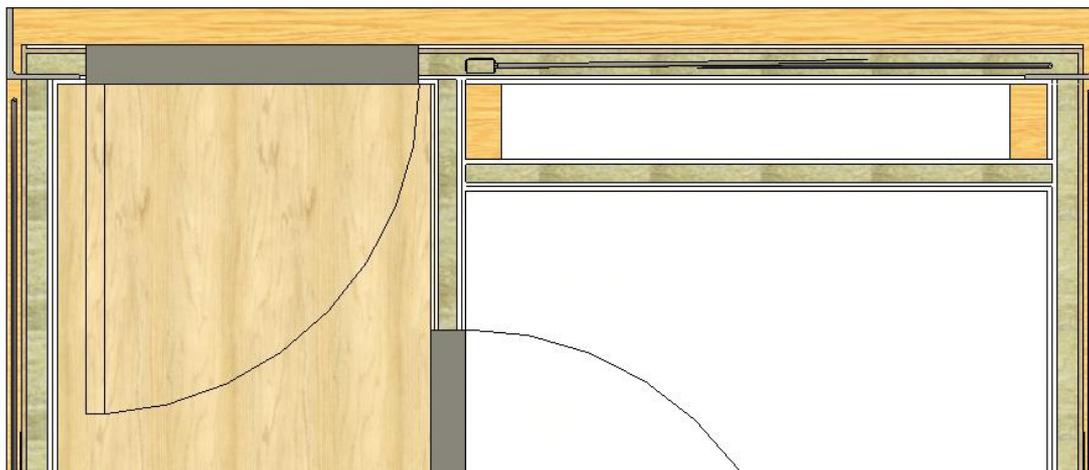


Figura 172: Representação da parede divisória e da parede de corete

A parede de fachada (figura 173) é constituída por dupla placa de gesso cartonado, montantes de lã de rocha, dupla placa de madeira OSB, caixa de ar, painel isolante do tipo XPS e painel de betão pré-fabricado, no entanto apenas uma parte da parede virá montada de fábrica, tendo o painel de betão pré-fabricado de ser colocado em obra. Este método de conceção da parede de fachada acaba por ser vantajoso pois a escolha das fachadas depende da zona climática e dos requisitos de cada distrito relativamente à envolvente dos edifícios, o processo de elevação do módulo ocorre sem grandes problemas de instabilidade, uma vez que o centro de gravidade está praticamente alinhado com o centro de massa do módulo, e não situado perto da parede apainelada e, do ponto de vista arquitetónico e estético, torna-se mais agradável ao olhar devido à ausência de juntas.

Os painéis de betão pré-fabricado terão incluído um painel de isolamento do tipo XPS e serão montados nas vigas dos módulos através de ligações aparafusadas.



Figura 173: Representação da parede de fachada

Com as paredes concluídas torna-se agora possível a colocação das janelas e das portas, resultando na

estrutura representada na figura 174. O módulo encontra-se pronto para transporte e para ser assembled no local da obra.

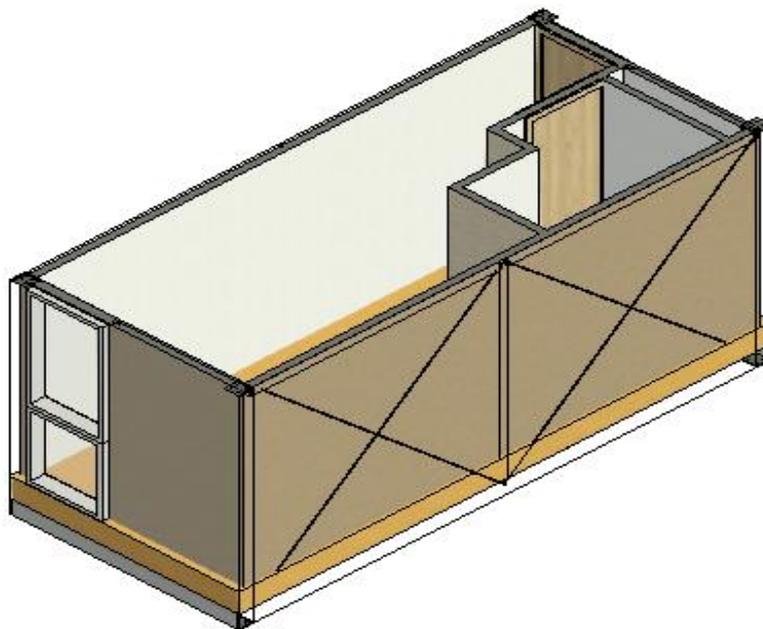


Figura 174: Módulo pronto para transporte

Uma vez assembled no local definido, avança-se então para a execução dos tetos e outros tipos de acabamentos. Com a necessidade de circulação, e consequente ocultação, de condutas para renovação do ar e de tubagens para drenagem das águas residuais, optou-se pela colocação de tetos em gesso cartonado ou aquapanel fixados a uma estrutura metálica com isolamento térmico do tipo XPS integrado. Essa estrutura metálica será fixada às vigas do módulo assembled no piso acima.

Por último, realizam-se acabamentos como a aplicação dos chãos de quarto (figura 175) e casa de banho e a colocação das louças sanitárias.

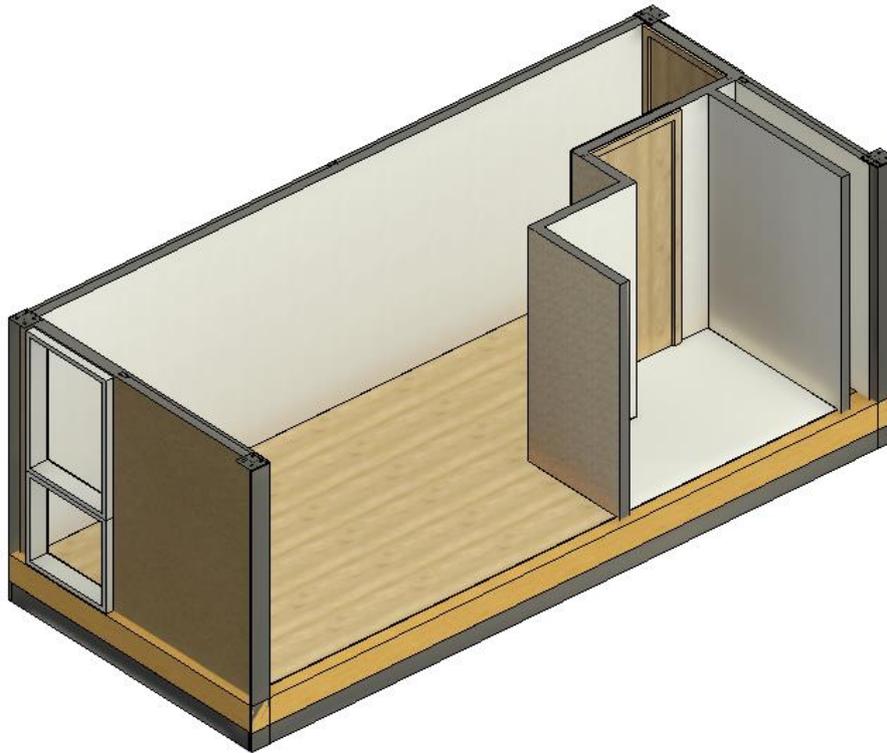


Figura 175: Módulo com acabamentos aplicados

### 3.3.8. Modelação de piso exemplo

Após a modelação de todos os módulos de quarto que farão parte do edifício chega a hora de os dispor no pressuposto local de assemblagem. Após esta ação torna-se imperativo encontrar soluções para a execução dos espaços de ligação entre os diferentes quartos. Assim, esta secção consiste na modelação de um piso exemplo e que servirá de referência para os pisos seguintes, onde serão apresentadas soluções para a execução das lajes de piso dos corredores, e respetiva ligação aos módulos, as paredes de fachada dos mesmos e a ligação das lajes de piso ao núcleo rígido. A laje de piso será em madeira CLT, idêntica à utilizada nos módulos e, de modo a facilitar a ligação entre as lajes do módulo e do corredor, a laje do módulo ocupará apenas metade da largura da cantoneira (10 cm) para que se possa efetuar a assemblagem da laje de corredor na restante cantoneira (restantes 10 cm) (figura 176).

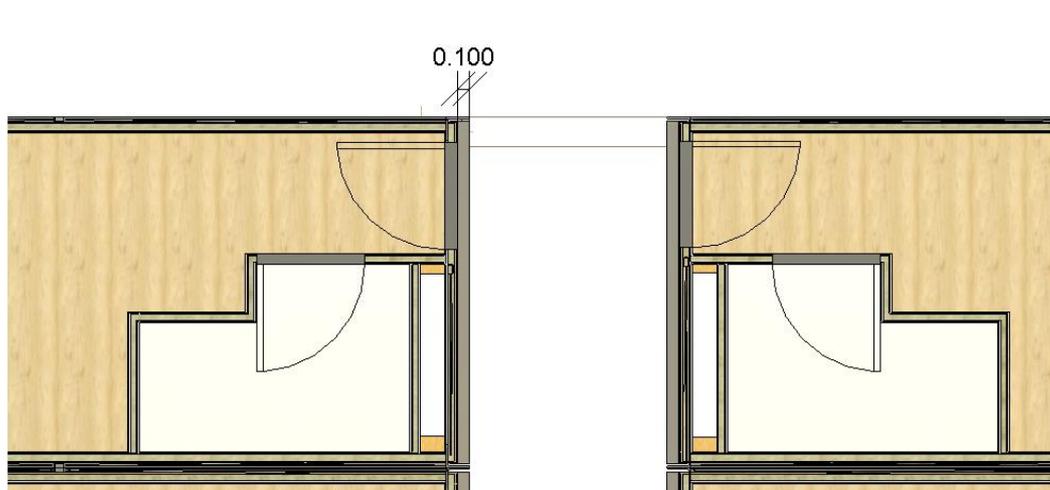


Figura 176: Localização das lajes nas cantoneiras

O primeiro passo é então a colocação dos módulos (figura 177) e a modelação dos elementos do núcleo rígido, cujos materiais a utilizar serão de acordo com o projeto original.

Pela vista em planta representada na figura 177 é possível notar que os dois módulos isolados localizados à esquerda da parede resistente do núcleo rígido não estão faceadas com a mesma e, de modo a solucionar o problema, podem ser utilizadas duas soluções.

A primeira consiste no aumento da caixa de escadas de forma aos módulos poderem ser fixados diretamente à parede resistente. A segunda solução passa por manter as dimensões da caixa de escadas e efetuar a ligação dos módulos ao núcleo rígido recorrendo a elementos metálicos curtos de elevada rigidez, resultando num espaço de sobra que pode ser utilizado como corete. Para o trabalho optou-se pela utilização da segunda solução.

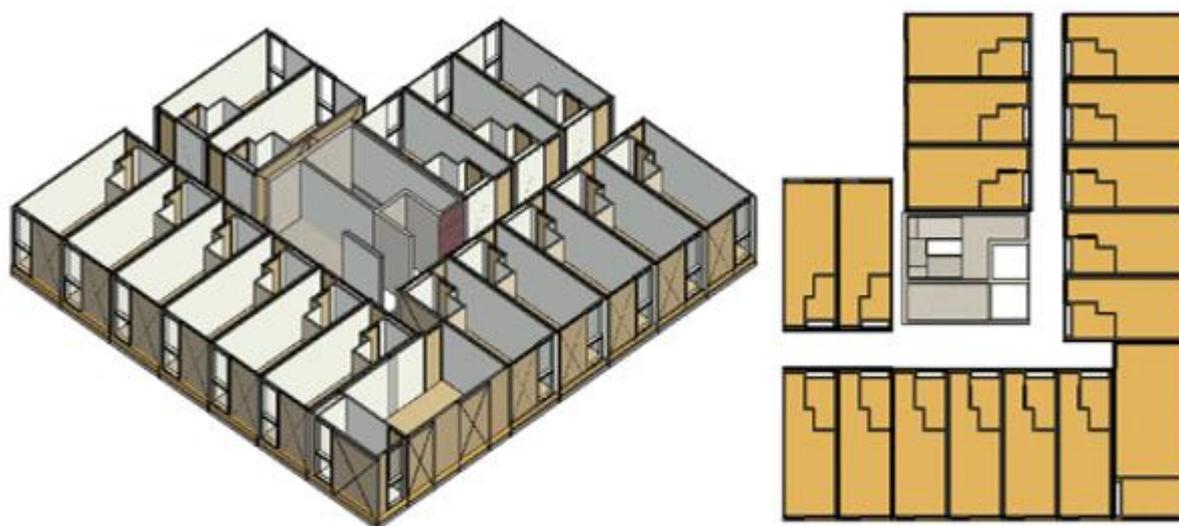


Figura 177: Módulos colocados local de obra (à esquerda) e vista em planta (à direita)

As dimensões dos painéis de corredor são restringidas devido a fatores como a produção e o transporte logo os painéis de corredor não poderão ser peças únicas, devendo os painéis ser produzidos em fábrica em tamanhos regulamentados, transportados, montados e unidos entre si *in-situ*, logo as conexões devem ser de fabricação rápida e fácil montagem. Quando assembladas, as lajes de corredor estão sujeitas a flexão simples então a conexão deve ter a capacidade de transferir as forças e manter a integridade do sistema.

Devido à limitação das dimensões dos painéis os corredores serão seccionados em 5 partes (figura 180), de acordo com as dimensões e o tipo de ligação que devem estabelecer. De uma forma geral, existem 2 tipos de ligação a que todos os painéis de corredor terão de atender, nomeadamente as ligações laje de quarto – laje de corredor (figura 178) e laje de corredor – laje de corredor (figura 179).

A ligação entre os painéis de quarto e os painéis de corredor trata-se de uma conexão simples que pode ser realizada em obra após a assemblagem dos mesmos. Esta consiste em perfilar a superfície das bordas do painel de modo que possa encaixar uma tira de madeira, sendo depois consolidado através de parafusos, pregos, parafusos de rosca e parafusos de madeira (Mohammad et al., 2013).

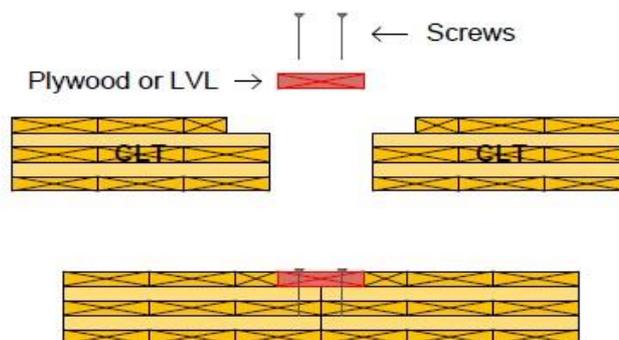


Figura 178: Esquema de ligação laje de quarto - laje de corredor  
<http://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/wp-content/uploads/2015/06/single-surface-spline.jpg>

A ligação entre os painéis de quarto e os painéis de corredor é efetuada com uma ligação semelhante à apresentada anteriormente. Esta consiste em criar entalhes nas superfícies superior e inferior da laje de CLT e de seguida encaixar uma tira de madeira cuja ligação é estabelecida através de parafusos. A utilização de dois conjuntos de parafusos permite uma ligação mais resistente e rígida e, conseqüentemente, uma maior capacidade resistente da laje (Mohammad et al., 2013). No entanto, acaba por ser um processo mais moroso pois há necessidade de incorporar as duas tiras de madeira de cada lado da laje.

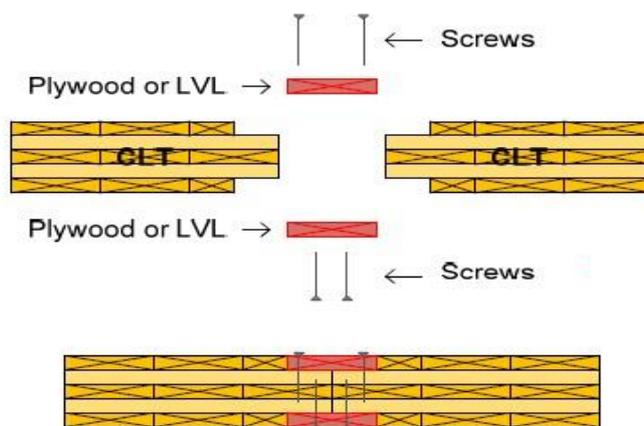


Figura 179: Esquema de ligação laje de corredor - laje de corredor  
<http://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/wp-content/uploads/2015/06/double-surface-spline.jpg>

De notar que, aquando da modelação, não serão representados os entalhes nas lajes para as ligações, sendo apenas representada a laje de uma forma genérica, como um painel de CLT.

Com o seccionamento dos corredores procede-se à análise das ligações e dimensões (tabela 10) entre os diferentes segmentos, e ao solucionamento de adversidades que possam surgir.

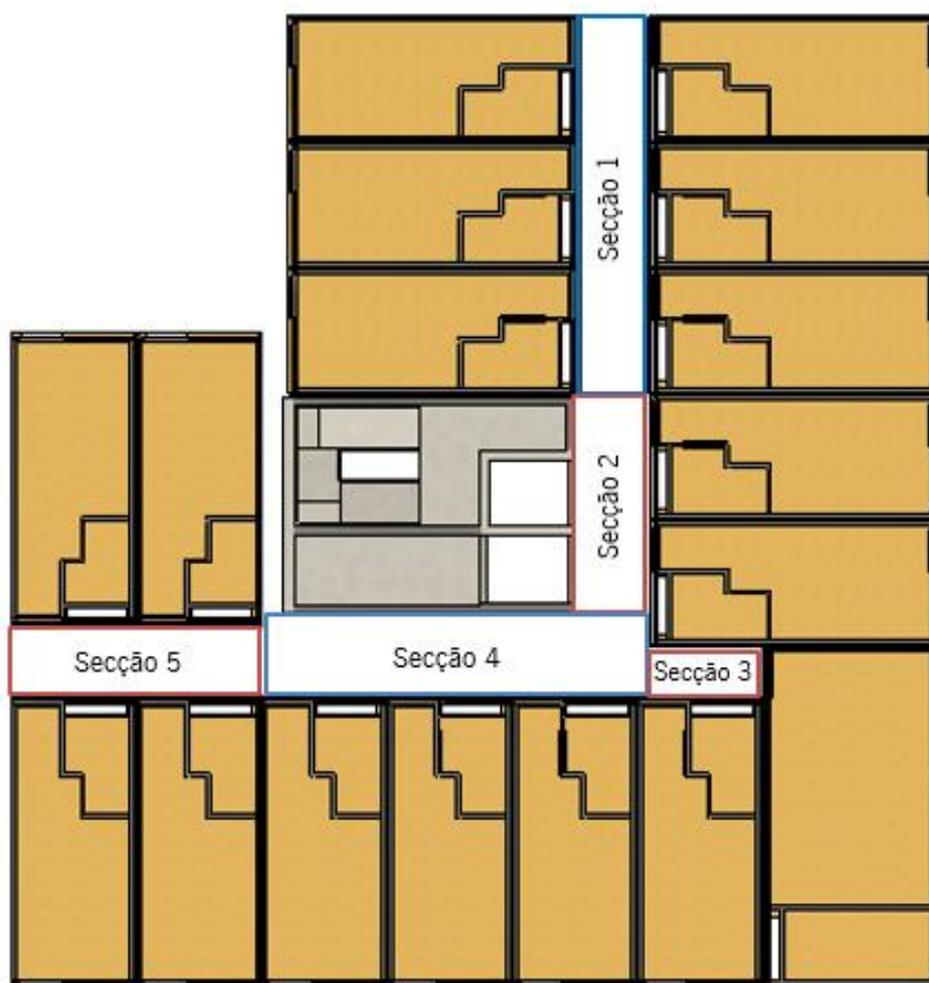


Figura 180: Seccionamento dos espaços de circulação

Tabela 12: Dimensões das lajes

Laje	Dimensões	
	Comprimento (m)	Largura (m)
<b>1</b>	8,96	1,88
<b>2</b>	5,23	1,91
<b>3</b>	2,68	1,33
<b>4</b>	9,40	2,07
<b>5</b>	5,96	1,88

Na secção 1, pela figura 180, é possível notar a ausência da parede de fachada no topo do corredor e que os módulos se localizam em ambos os lados do corredor.

Como os módulos estão posicionados em ambos os lados do corredor a ligação à laje do corredor é do tipo laje de quarto – laje de corredor, a qual foi explanada anteriormente. O processo de união compreende a assemblagem da laje de corredor na restante largura da cantoneira dos módulos do quarto, de seguida a perfilagem da superfície de ambas as lajes e a sua conexão com uma tira de madeira através de uma ligação aparafusada.

Para solucionar a questão da parede de fachada optou-se pela sua execução *in situ*, uma vez que se viesse acoplada, de fábrica, à laje que constituiria o corredor seria necessário uma maior logística para o elevar com grua devido ao desalinhamento do centro de gravidade. No entanto, antes da execução da mesma, é crucial a elaboração de tirantes para contraventamento, ou seja, a primeira tarefa a concretizar será a soldagem de uma viga de bordadura ao topo superior dos pilares dos módulos, de seguida a instalação de cabos de aço de 12 mm em forma de X, semelhantes aos utilizados nos módulos, e, após a colocação da laje do corredor, o levantamento da parede de fachada (figura 181).

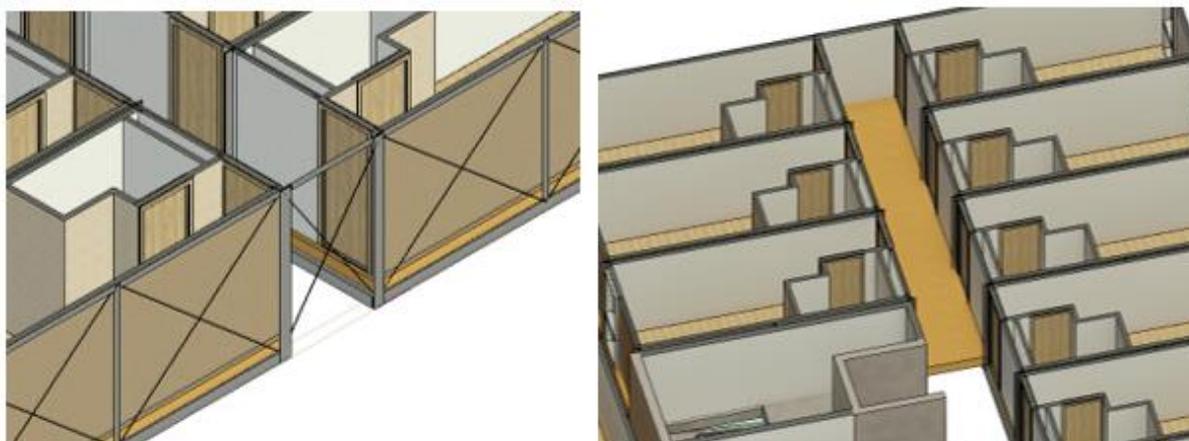


Figura 181: Execução da parede de fachada

A secção 2, bem como a secção 4, são secções que requerem outro tipo de solução às apresentadas anteriormente. O corredor que compõem esta secção está delimitado por vigas e paredes resistentes do lado esquerdo e módulos do lado direito, ou seja, a ligação aos módulos é do tipo laje de quarto – laje de corredor, tornando-se o lado esquerdo a questão fulcral a resolver.

Uma das maneiras de tornar exequível a união entre estruturas metálicas e estruturas de betão armado é utilizando chumbadouros. O processo consiste na cravação de uma cantoneira à face da viga de betão armado, durante o processo de betonagem, e na ligação dos mesmos através de chumbadouros (figura 182).

A cantoneira, em vez de uma peça única, é constituída por um conjunto de elementos descontínuos para que a betonagem ocorra de forma eficaz e eficiente. É então composta por 2 segmentos, distanciados 50 cm entre si e das extremidades, perfazendo 2 cantoneiras com 1,18 m de comprimento cada.

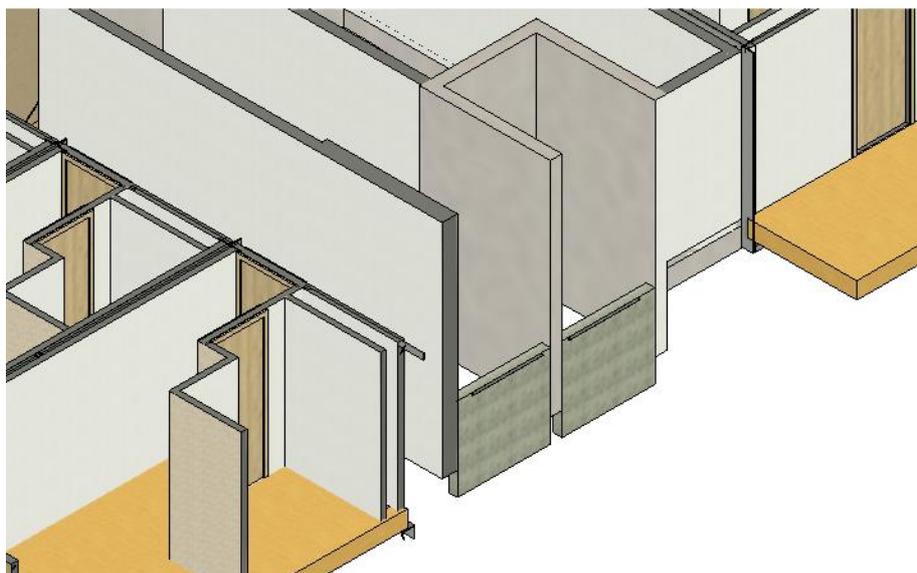


Figura 182: Cravação das cantoneiras nas vigas

A ligação entre laje de quarto – laje de corredor, a qual foi explanada anteriormente, consiste na assemblagem da laje de corredor na restante largura da cantoneira dos módulos do quarto, de seguida na perfilagem da superfície de ambas as lajes e a sua conexão com uma tira de madeira através de uma ligação aparafusada (figura 183).

A ligação à laje da secção 1 é efetuada através de uma ligação do tipo laje de corredor – laje de corredor. Após a assemblagem da laje da secção 2 realizam-se entalhes em ambas as lajes e procede-se à união com uma tira de madeira e respetiva ligação com parafusos.

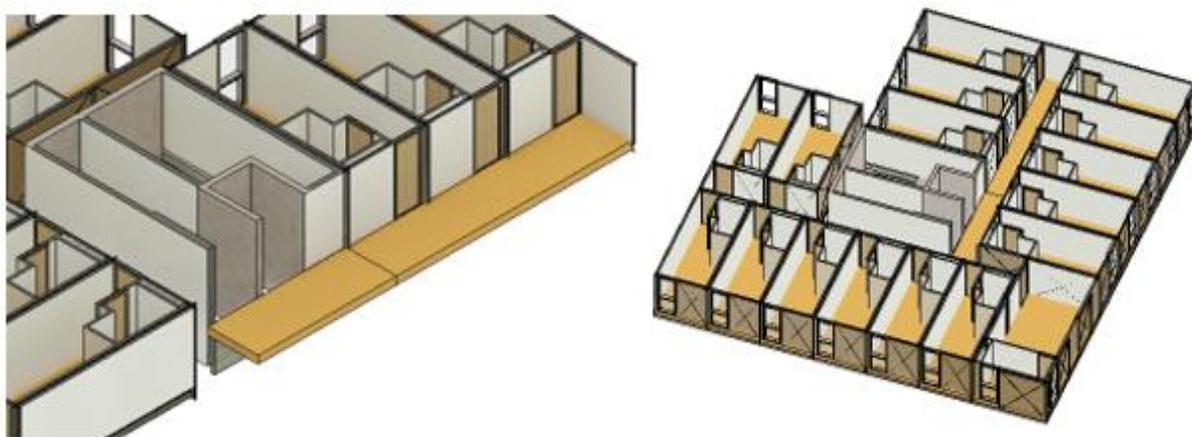


Figura 183: Assemblagem da secção 2

A secção 3 encontra-se delimitada por três módulos, nomeadamente um módulo comum com orientação vertical, um módulo comum com orientação horizontal e o módulo de suite (figura 184).

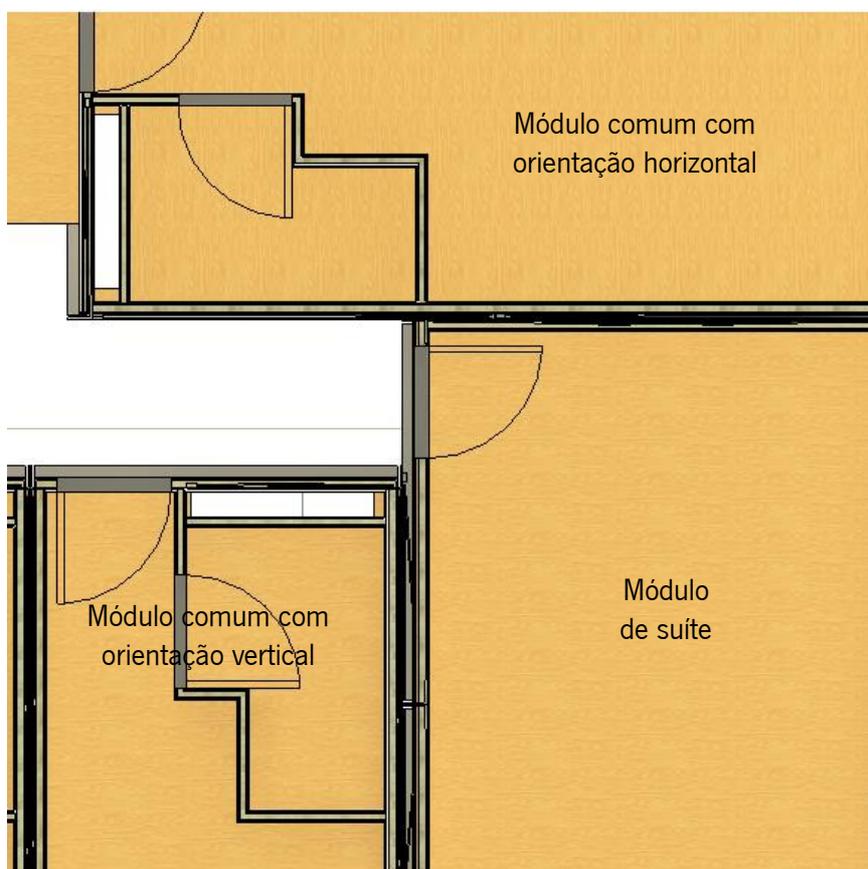


Figura 184: Representação do módulo de suite e módulos que o delimitam

Pela figura 184 é possível notar que a laje é facilmente assemblada à cantoneira do módulo de suite e à cantoneira do módulo comum com orientação vertical com uma ligação do tipo laje de quarto – laje de

corredor, no entanto o mesmo não é praticável com o módulo comum orientado horizontalmente, uma vez que a cantoneira que o suporta está totalmente preenchida pela parede. A solução para esta questão passa pela soldagem de uma cantoneira (figura 185), de características idênticas à utilizada na estrutura modular, à cantoneira desse mesmo módulo, de modo a proporcionar uma base para o assentamento da laje.

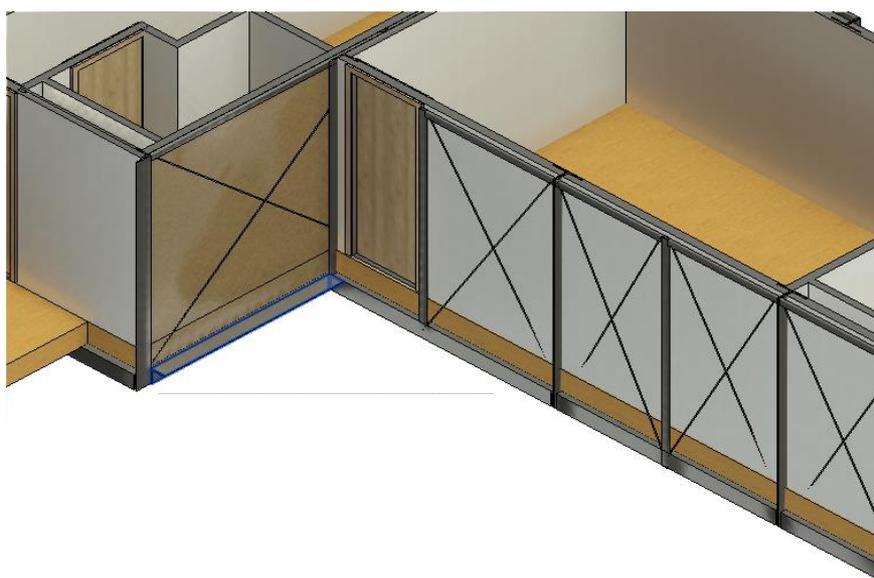


Figura 185: Cantoneira (representada a azul) soldada à cantoneira do módulo

Com todas as ligações estabelecidas de forma viável, torna-se possível a assemblagem da laje. A mesma apoia nas cantoneiras dos módulos de suite e módulo comum orientado na vertical unindo-se às lajes dos quartos através da ligação laje de quarto – laje de piso, já anteriormente referida, e fica simplesmente apoiada na cantoneira soldada à cantoneira do módulo comum com orientação vertical (figura 186).

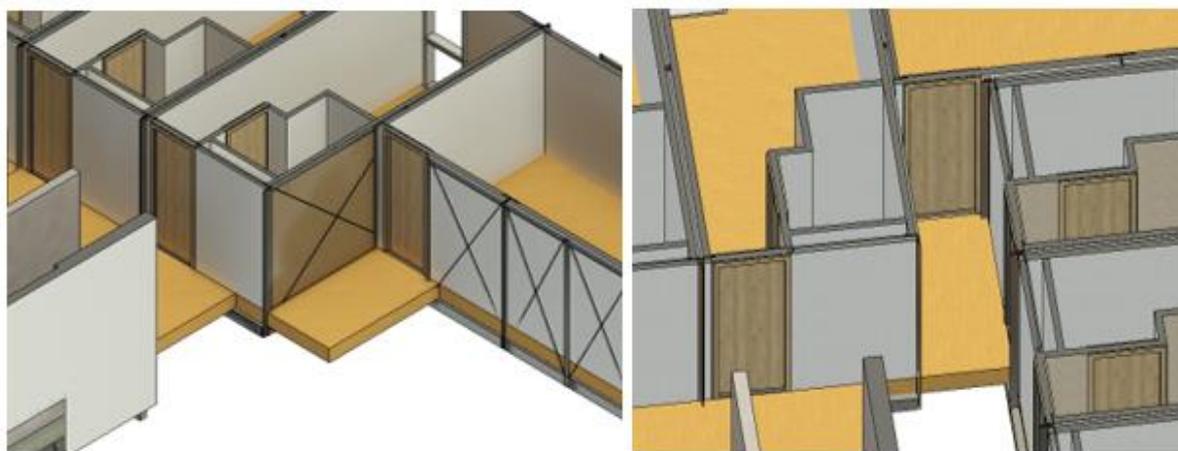


Figura 186: Laje (secção 3) assemblada

A secção 4 é uma secção com contiguidades idênticas às da secção 2. O corredor que compõem esta secção está delimitado por paredes e vigas do núcleo rígido numa das extremidades e módulos do na outra, ou seja, a ligação aos módulos é do tipo laje de quarto – laje de corredor.

Uma das maneiras de tornar exequível a união entre estruturas metálicas e estruturas de betão armado é utilizando chumbadouros. O processo consiste na cravação de uma cantoneira à face da viga de betão armado, durante o processo de betonagem, e na ligação dos mesmos através de chumbadouros.

A cantoneira, em vez de uma peça única, é constituída por um conjunto de elementos descontínuos para que a betonagem ocorra de forma eficaz e eficiente. É então composta por 3 segmentos, distanciados 50 cm entre si e das extremidades, perfazendo 3 cantoneiras com 1,65 m de comprimento cada (figura 187).



Figura 187: Cantoneiras chumbadas na viga e parede resistente

A laje fica então simplesmente apoiada às cantoneiras cravadas nos elementos de betão armado e a união à laje dos quartos faz-se através da ligação do tipo laje de quarto – laje de corredor. Já a ligação às restantes secções é executada com a ligação do tipo laje de corredor – laje de corredor (figura 188).

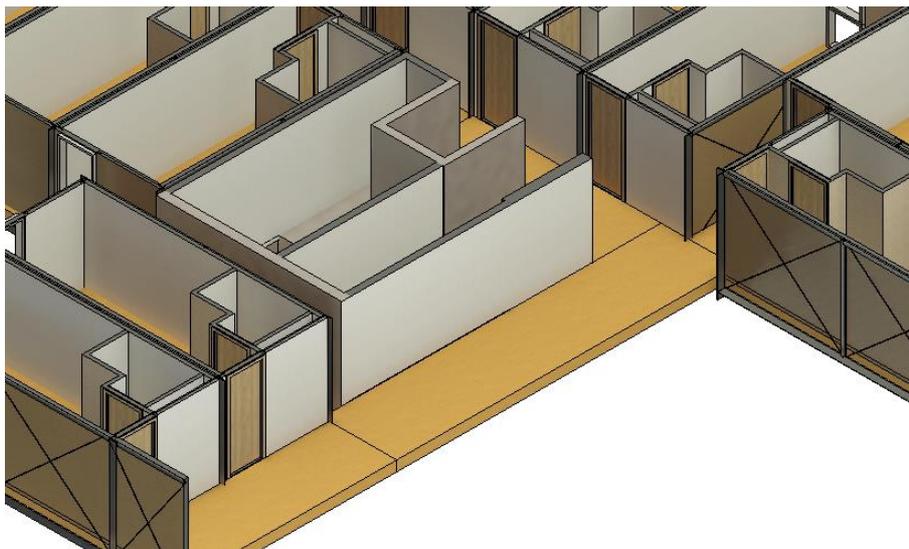


Figura 188: Assemblagem da secção 4 do corredor

Por fim, a secção 5 tem adversidades idênticas às encontradas na secção 1 e, por isso, as soluções a aplicar são em tudo iguais às da primeira secção.

Como os módulos estão posicionados em ambos os lados do corredor a ligação à laje do corredor é do tipo laje de quarto – laje de corredor, a qual se encontra explanada no início do capítulo.

Para a execução da parede fachada, inicialmente, solda-se a viga de bordadura aos topos superiores dos pilares dos módulos e fixam-se os tirantes de aço em forma de X. Terminada a tarefa, apoia-se a laje do corredor nas cantoneiras dos módulos de quarto e procede-se à ligação entre as mesmas (figura 189).

Para terminar a ligação entre os espaços comuns, realiza-se a união da laje à laje de corredor da secção vizinha através da ligação laje de corredor – laje de corredor.



Figura 189: Execução da parede de fachada e assemblagem da laje de corredor

Com as zonas de ligação entre módulos terminadas fica concluída a modelação do piso exemplo e que

servirá de base ao próximo capítulo, que consistirá na modelação de todo o edifício.

## **CAPÍTULO 4. FASEAMENTO CONSTRUTIVO DA UNIDADE HOTELEIRA**

### **4.1. Enquadramento geral**

Após a finalização de todos os módulos que compõem o edifício em fábrica, os mesmos ficam prontos para transporte para o local de obra possibilitando o início da construção de todo o edifício. O capítulo agora apresentado consiste no faseamento construtivo do edifício, ou seja, será feita a modelação do mesmo desde o piso 1 até ao piso 4, seguindo uma sequência de construção que permita a redução dos tempos e dos custos de conceção da estrutura.

De uma forma geral, o objetivo do capítulo é a modelção do edifício com a aplicação das soluções e decisões apresentadas até ao momento nos diversos pisos cujo resultado final deverá ser um edifício completo e operacional.

Como apenas foi realizado o projeto de modularização para os pisos 1 a 4 então os pisos -2 ao piso 0 serão elaborados de acordo com o projeto de construção corrente, os quais não serão modelados por não fazerem parte do âmbito da dissertação.

### **4.2. Trabalhos iniciais**

Os primeiros passos para a conceção do edifício seriam a montagem do estaleiro, a abertura de caboucos e a realização das fundações. De seguida proceder-se-ia à realização dos pisos -2 a 0 e finalmente aos pisos onde se colocariam os módulos.

De modo a poder começar a assemblar os módulos, procedeu-se à betonagem dos elementos do núcleo rígido, designadamente as paredes e núcleos resistentes, as vigas e as lajes de betão armado até ao piso 2. Em simultâneo com a betonagem dos elementos colocam-se os chumbadouros e as vigas metálicas que servirão de base para assentamento dos corredores (figura 190).

Realizada a betonagem dos elementos do núcleo rígido chega o momento da assemblagem dos módulos, sendo dispostos numa estrutura porticada de betão armado (figura 191). Esta estrutura não faz parte do âmbito do trabalho, tratando-se apenas de uma representação genérica e que não se encontra compatibilizada com o projeto estrutural do projeto original, pois a execução baseia-se na localização dos elementos estruturais dos módulos e existem desvios entre os pilares dos módulos e a estrutura de betão, resultando numa deficiente transferência de esforços entre pilares e vigas. De modo a colmatar este aspeto teria de ser feito um dimensionamento da estrutura de betão armado na fase de estudo

prévio.

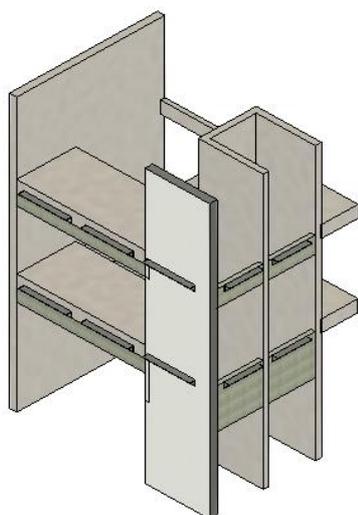


Figura 190: Betonagem dos maciços e inserção das cantoneiras até ao segundo piso

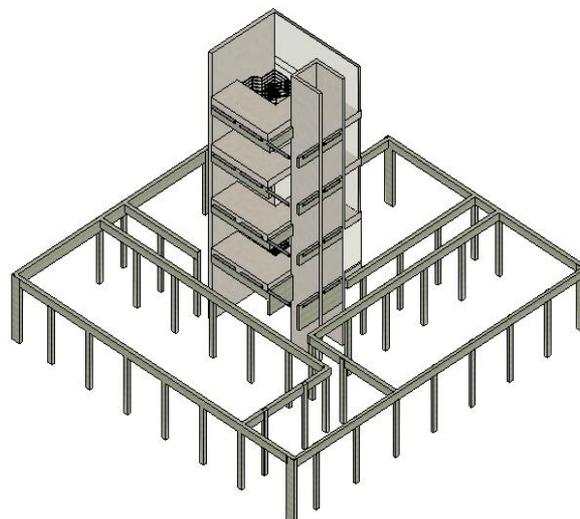


Figura 191: Estrutura porticada de betão armado

### 4.3. Edificação do primeiro piso

Definida a base de apoio para os módulos torna-se possível a edificação do primeiro piso, a qual inclui a montagem dos módulos e a execução dos espaços de ligação entre os mesmos. Após a montagem dos módulos (figura 192) executam-se os contraventamentos das paredes de topo dos corredores, ou seja, soldam-se as vigas de bordadura e instalam-se os cabos de aço em forma de X, de seguida introduzem-se as lajes de corredor, efetuam-se as ligações aos módulos do quarto e entre si e, para concluir, efetuam-se as paredes de fachada (figura 193).

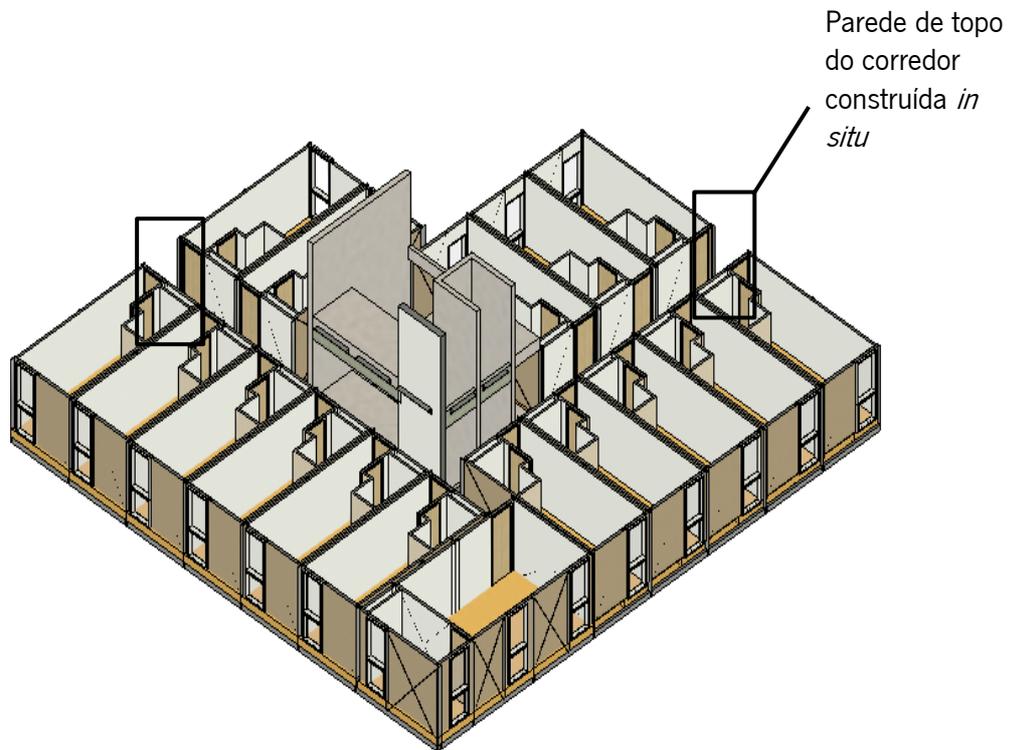


Figura 192: Disposição dos módulos

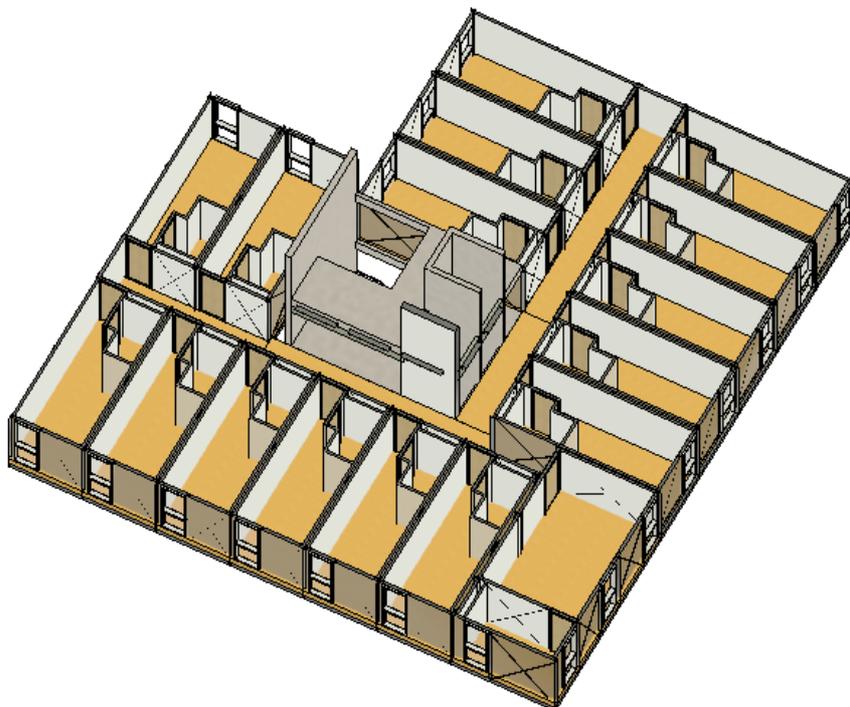


Figura 193: Piso 1 terminado

#### 4.4. Edificação do segundo piso

Finalizado o primeiro piso prossegue-se à betonagem dos elementos do núcleo rígido do terceiro piso, juntamente com a inserção das cantoneiras para suporte das lajes (figura 194).

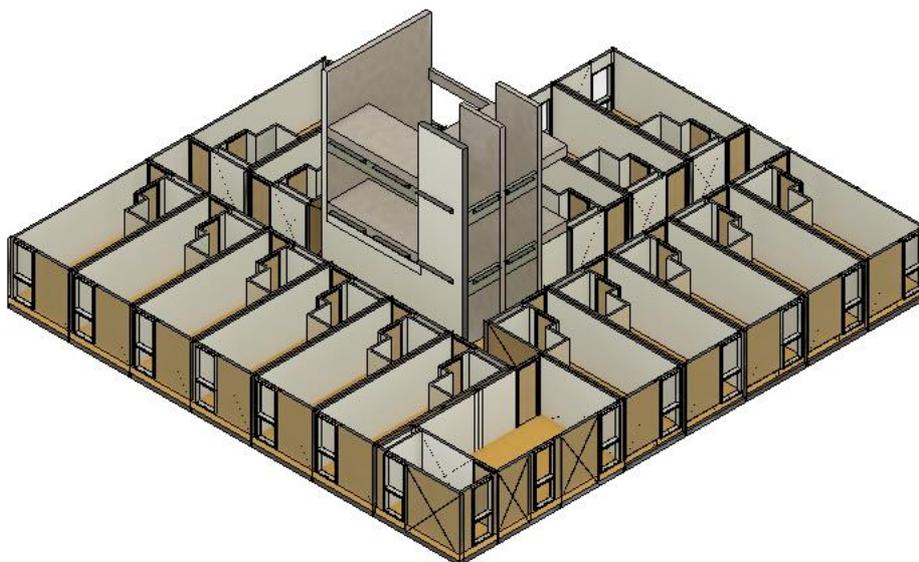


Figura 194: Betonagem dos núcleos do terceiro piso e inclusão das cantoneiras

Com as condições reunidas para a execução do segundo piso avança-se para a colocação dos módulos, a instalação viga de bordadura e dos tirantes, a introdução das lajes de corredor, e ligação aos módulos, e o levantamentos das paredes de fachada, de forma semelhante às do primeiro piso. Com o piso 2 assemblado é possível iniciar os acabamentos do piso 1, nomeadamente o levantamento das paredes de tijolo das zonas do núcleo rígido, quaisquer tipos de acabamentos que sejam necessários em paredes, a instalação do teto falso, pois é montado nas lajes e vigas do módulo que o sucede, a colocação dos acabamentos de chão e, finalmente, a inserção das loiças sanitárias e respetivas ligações às tubagens de abastecimento e drenagem pré-instaladas. É também realizada a ligação entre as lajes de corredor do segundo piso, uma vez que são unidas pelas faces superior (localizada no piso 2) e inferior (localizada no piso 1). Caso haja mão-de-obra suficiente algumas das tarefas podem e devem ser realizadas em simultâneo para poupança de tempos e custos de obra.

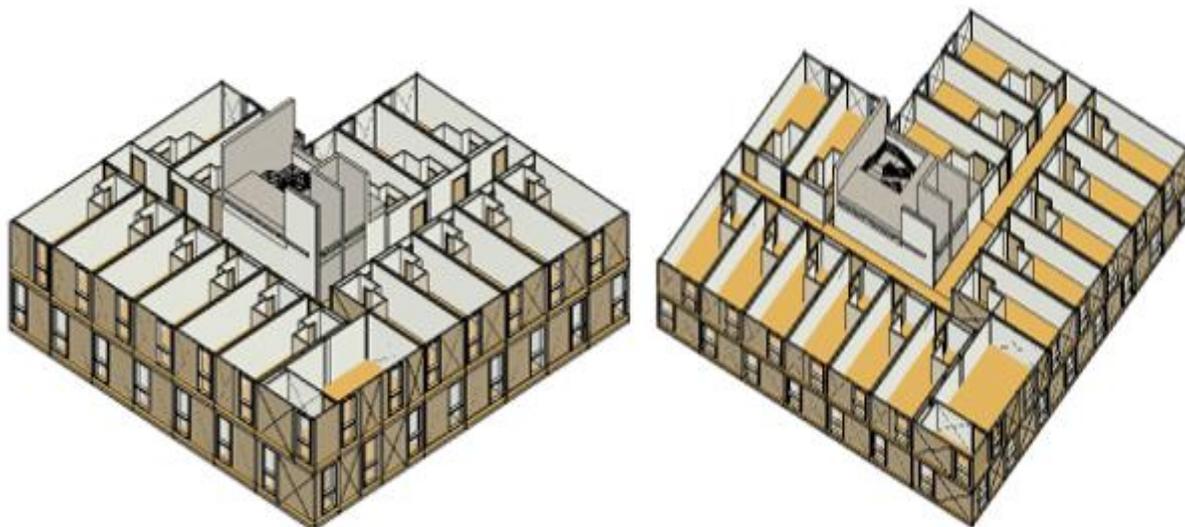


Figura 195: Piso 2 com módulos assemblados e corredores executados

#### 4.5. Edificação do terceiro piso

A construção do terceiro piso segue a configuração do piso anterior. O primeiro passo para a sua conceção é a betonagem dos elementos de betão armado do quarto e último piso, cujo processo inclui a cravação de cantoneiras que servirão de apoio às lajes de corredor (figura 196). O passo seguinte é a assemblagem dos módulos do terceiro, a qual será acompanhada em simultâneo pela colocação dos painéis de betão armado pré-fabricado nos pisos 1 e 2 (figura 197).

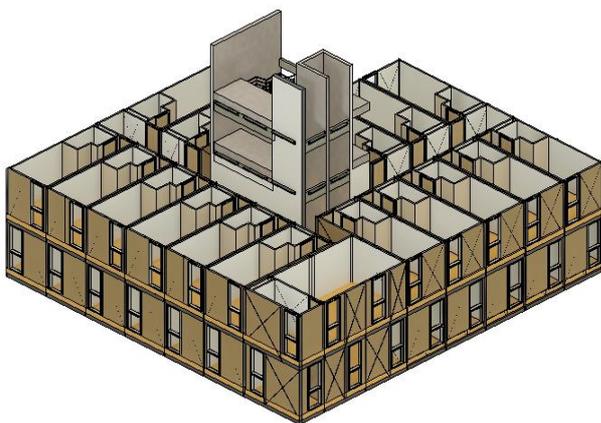


Figura 196: Betonagem do núcleo do quarto piso e vigas chumbadas nos mesmos

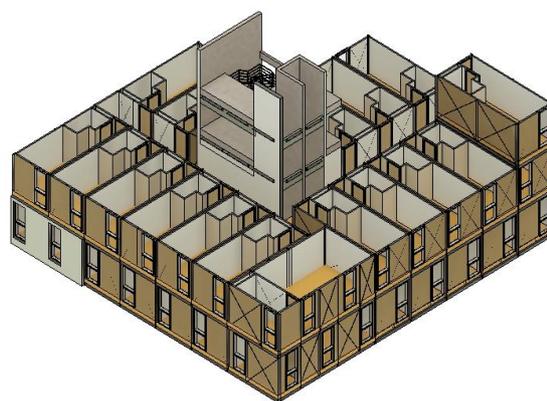


Figura 197: Assemblagem dos módulos do terceiro piso e execução da parede de fachada

Finda a assemblagem dos módulos do terceiro piso (figura 198), as tarefas seguintes são semelhantes

às dos restantes pisos já executados logo, de um forma resumida, a atividade que se segue é a colocação dos cabos de aço de 12 mm em forma de X para efeitos de atirantamento, com correspondente soldagem da viga de bordadura, o assentamento das lajes de corredor e união às lajes dos alojamentos e, finalmente, o levantamento das duas paredes de topo do corredor (figura 199).

Após a assemblagem do piso 3 torna-se exequível efetuar os acabamentos do piso 2, designadamente a o levantamento das paredes de tijolo das zonas do núcleo rígido, os devidos acabamentos em paredes, a montagem do teto falso, uma vez que é instalado nas lajes e vigas do módulo que o sucede, a colocação dos acabamentos de chão e, finalmente, a inserção das loiças sanitárias e respetivas ligações às tubagens de abastecimento e drenagem pré-instaladas de fábrica, e também a conexão entre as lajes de corredor do piso 3, que são unidas pelas faces superior e inferior.

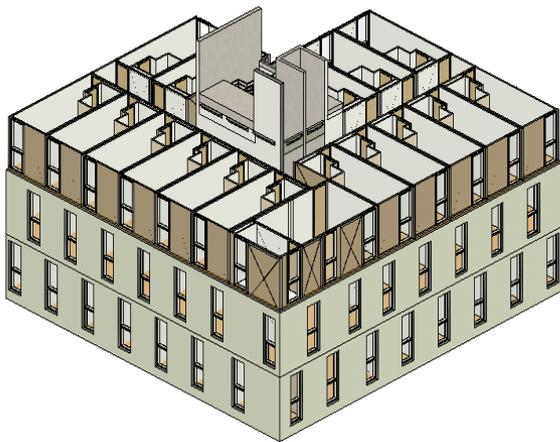


Figura 198: Assentamento dos módulos do terceiro piso

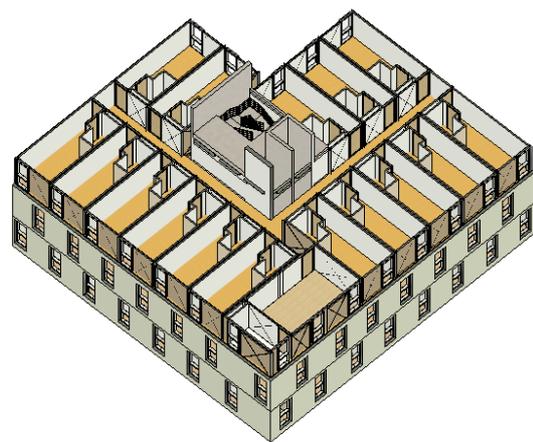


Figura 199: Execução dos espaços de circulação

#### **4.6. Edificação do quarto piso**

Terminados os restantes 3 pisos são agora colocados os módulos do último piso (figura 200).

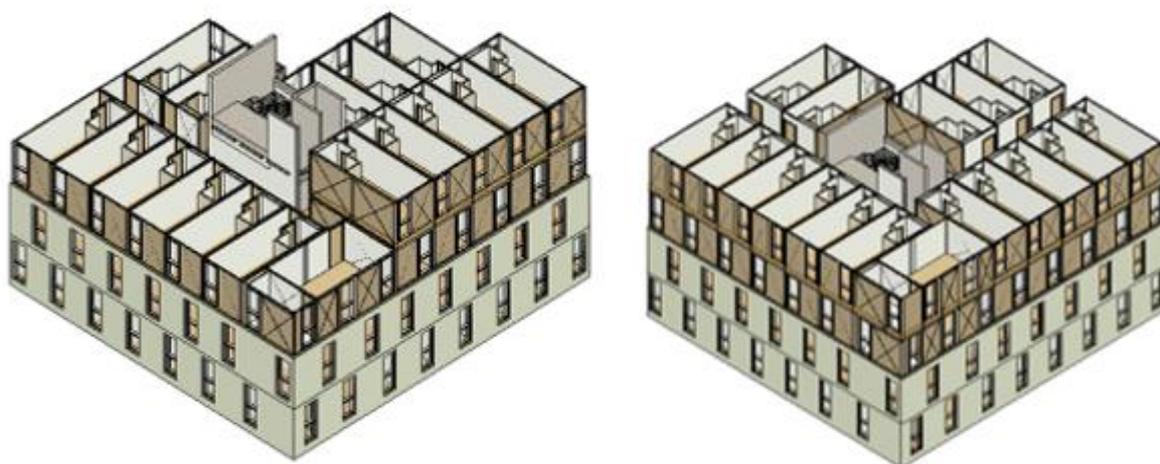


Figura 200: Colocação dos módulos do quarto piso

Após a sua assemblagem procede-se, como já referido anteriormente, à colocação dos tirantes de aço de em forma de X para efeitos de atirantamento, com correspondente soldagem da viga de bordadura, ao estabelecimento das lajes de corredor e junção às lajes dos alojamentos e, finalmente, à elevação das duas paredes de topo do corredor (figura 201). Terminados os trabalhos, é praticável a fixação dos painéis de betão pré-fabricado nos pisos 3 e 4 (figura 202).

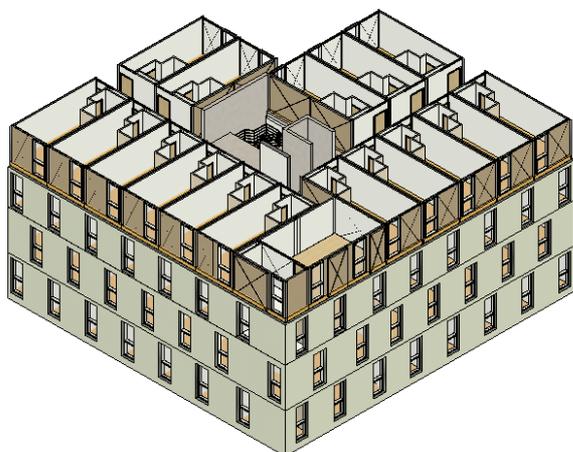


Figura 201: Execução das paredes de corredor

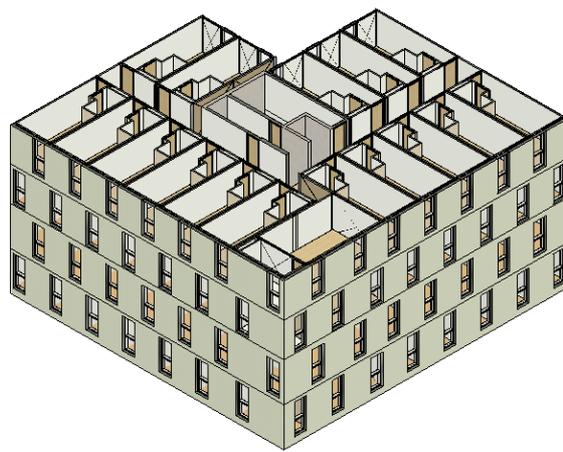


Figura 202: Colocação dos painéis de fachada no último piso

Simultaneamente à colocação dos elementos que compõem a fachada efetuam-se os acabamentos dos terceiro e quarto piso. São então realizadas a ligação das lajes de corredor do piso 4, as quais são agregadas pelas superfícies superior e inferior e, em ambos os pisos, procede-se ao levantamento das paredes de tijolo das zonas do núcleo rígido, fazem-se os acabamentos exigidos nas paredes, a fixação

do teto falso do piso 3 às vigas e laje do módulo que o sucede, a instalação dos chãos de acabamento (figura 203) e, finalmente, a colocação das loiças sanitárias e respetivas ligações às tubagens de abastecimento e drenagem pré-instaladas de fábrica. A figura 204 representa o edifício praticamente terminado.

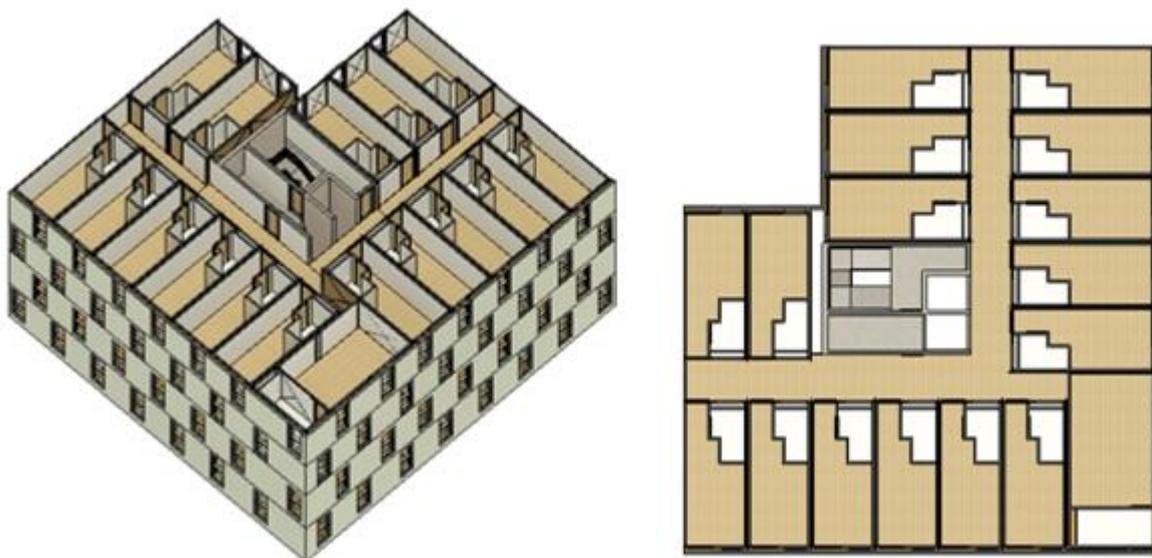


Figura 203: Acabamentos no quarto piso e vista em planta

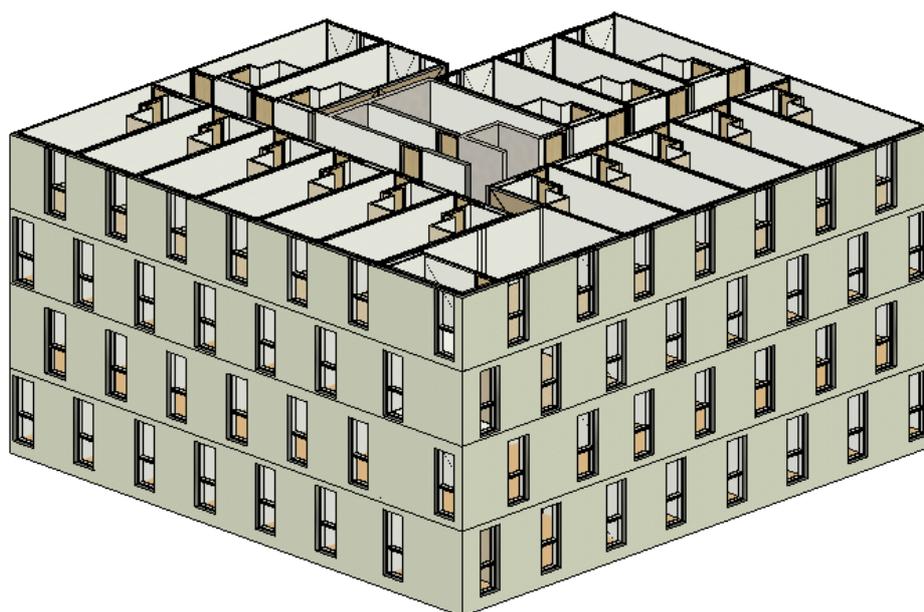


Figura 204: Edifício praticamente concluído

Para a conclusão da conceção do edifício faltam apenas a aplicação da laje de cobertura e do teto falso

do piso 4, o qual será fixo à solução para a cobertura. Logo, para a cobertura, será utilizada uma laje CLT, caso seja necessária a integração de equipamentos, a qual será forrada por painéis de cobertura “*sandwich*” isolados com poliuretano (figura 205), apoiados em estruturas metálicas. Esta solução é de fácil instalação e cumpre os requisitos em termos de isolamento térmico e de trocas térmicas.

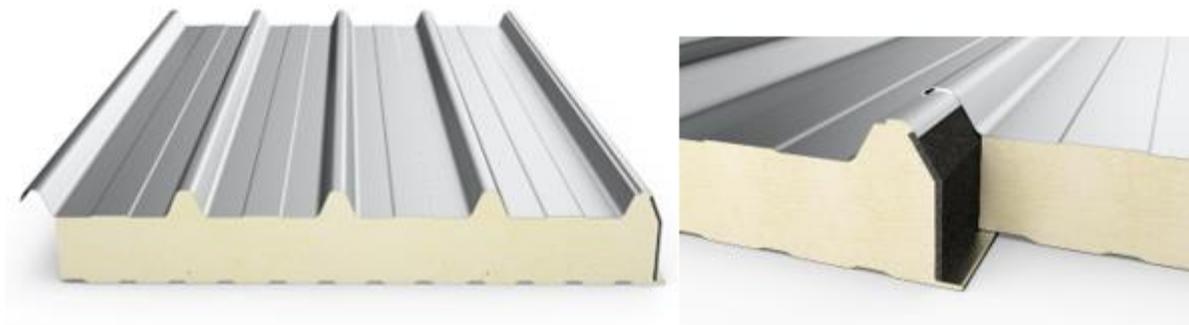


Figura 205: Chapa *sandwich* para cobertura

## **CAPÍTULO 5. SÍNTESE DO TRABALHO**

Em suma, a construção modular volumétrica apresenta inúmeras vantagens. Com um bom planeamento é possível usufruir, por exemplo, da rapidez de construção e montagem, da diminuição de recursos humanos e de trabalhos *in-situ*, quando comparada com outros métodos de construção. No entanto há certas condicionantes que devem ser atendidas de modo que se consiga uma estrutura funcional e exequível.

O presente capítulo destina-se ao mapeamento dos objetivos alcançados e dos problemas identificados, assim como à apresentação das considerações finais.

### **5.1. Objetivos alcançados**

O desenvolvimento desta dissertação levou à conceção de uma estrutura modular que, em termos arquitetónicos e estruturais, conseguiu cumprir o objetivado. O facto de se tratar de um módulo “único” e de ser aplicado em todos os alojamentos sustenta o princípio da construção modular, isto é, a repetição e uniformização de processos e materiais com vista à melhoria e eficiência produtiva.

Em termos estruturais, desenvolveu-se um módulo composto por vigas e pilares metálicos cuja sua disposição permite a ligação a outros módulos com uma certa facilidade, a inserção de elementos estruturais secundários e a montagem das lajes, edificando-se uma estrutura com rigidez e estabilidade. A seleção dos elementos estruturais dos módulos foi efetuada de forma que as operações de montagem *in-situ* fossem o mais fácil possível, e consequentemente reduzisse o tempo e complexidade das operações a realizar *in-situ*. Já em termos arquitetónicos, procurou-se que a estrutura cumprisse os requisitos funcionais relativamente a isolamentos térmico e acústico e também a sua segurança contra incêndios. Tais exigências foram atendidas com a utilização de materiais de revestimento adequados, sendo este um dos fatores de maior importância para a conceção do módulo.

O presente trabalho mostrou que, o facto dos módulos serem quase na sua totalidade produzidos em fábrica e transportados para o local de obra, diminui a quantidade de trabalhos necessários a realizar *in situ*, sendo os realizados maioritariamente de montagem e acabamentos, levando a uma poupança de recursos e de materiais, por exemplo, com a dispensa da utilização de cofragens. Acrescentado ainda o facto de as instalações técnicas poderem já se encontrar integradas nos módulos, realizando-se apenas as ligações após a ordenação dos módulos, e as uniões, seja entre módulos ou entre módulos e elementos de circulação, são de simples e rápida execução.

## **5.2. Problemas identificados**

Finda a realização do presente trabalho é possível afirmar que, numa primeira análise ao projeto do edifício estudo, este aparentava simplicidade na arquitetura e geometria, existiram diversos fatores que acabaram por condicionar a arquitetura e a estrutura do módulo, condicionantes essas que tiveram de ser solucionadas ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Um dos objetivos do trabalho era a criação de um módulo único, que fosse compatível com todos os alojamentos do projeto original, mas tal não acabou objetivado, explorando-se então a opção de fazer dois tipos de módulos, nomeadamente o módulo comum e o módulo de suite. Com o intuito de se utilizar o menor número possível de módulos de geometrias diferentes, optou-se neste caso de estudo realizar alguns ajustes ao projeto arquitetónico de modo a potenciar esta repetição.

Por se tratar de um trabalho conceptual, as estruturas modulares apresentadas não foram alvo de dimensionamento e o módulo desenvolvido pode ser retificado com a análise e o dimensionamento estrutural apropriados. Esta otimização permite, por exemplo, a diminuição das dimensões das cantoneiras com função estrutural, ou até mesmo a diminuição do número de tirantes a utilizar.

Para concluir, um dos maiores problemas encontrados foi a compatibilização ao projeto original. O assentamento dos módulos teria de ser feito numa estrutura porticada em betão armado, realizada especialmente para a execução do piso térreo, o qual possui vãos de grande dimensão correspondentes às áreas comuns. No entanto, os pilares dos módulos não estão coincidentes com os pilares em betão armado pré-existentes logo seria necessário um estudo prévio e dimensionamento de estruturas próprias para suporte dos módulos.

## **5.3. Considerações finais e trabalhos futuros**

O presente trabalho consistiu na “transformação” de um projeto de construção em betão armado num projeto de construção modular certos elementos que, sem a devida análise, não puderam ser compatibilizados, logo a projeção de um edifício em construção modular deve ser feita de raiz, com os respetivos estudos para compatibilização e coerência entre os diversos elementos estruturais e arquitetónicos, de modo a resultar numa estrutura lógica e coesa.

No âmbito deste trabalho haverá uma multiplicidade de trabalhos futuros que poderão ser realizados, nomeadamente, ao nível da otimização da solução modular, quer do ponto de vista conceptual, quer estrutural, da análise de custos, da análise do ciclo de vida, entre muitos outros aspetos.

Outras dos trabalhos possíveis seria a análise não da compatibilização das estruturas de betão armado aos módulos mas o oposto, ou seja, a conceção de raiz de uma estrutura em betão armado com a centralização dos módulos nos elementos estruturais e não nos espaços pré-existentes.

**BIBLIOGRAFIA**

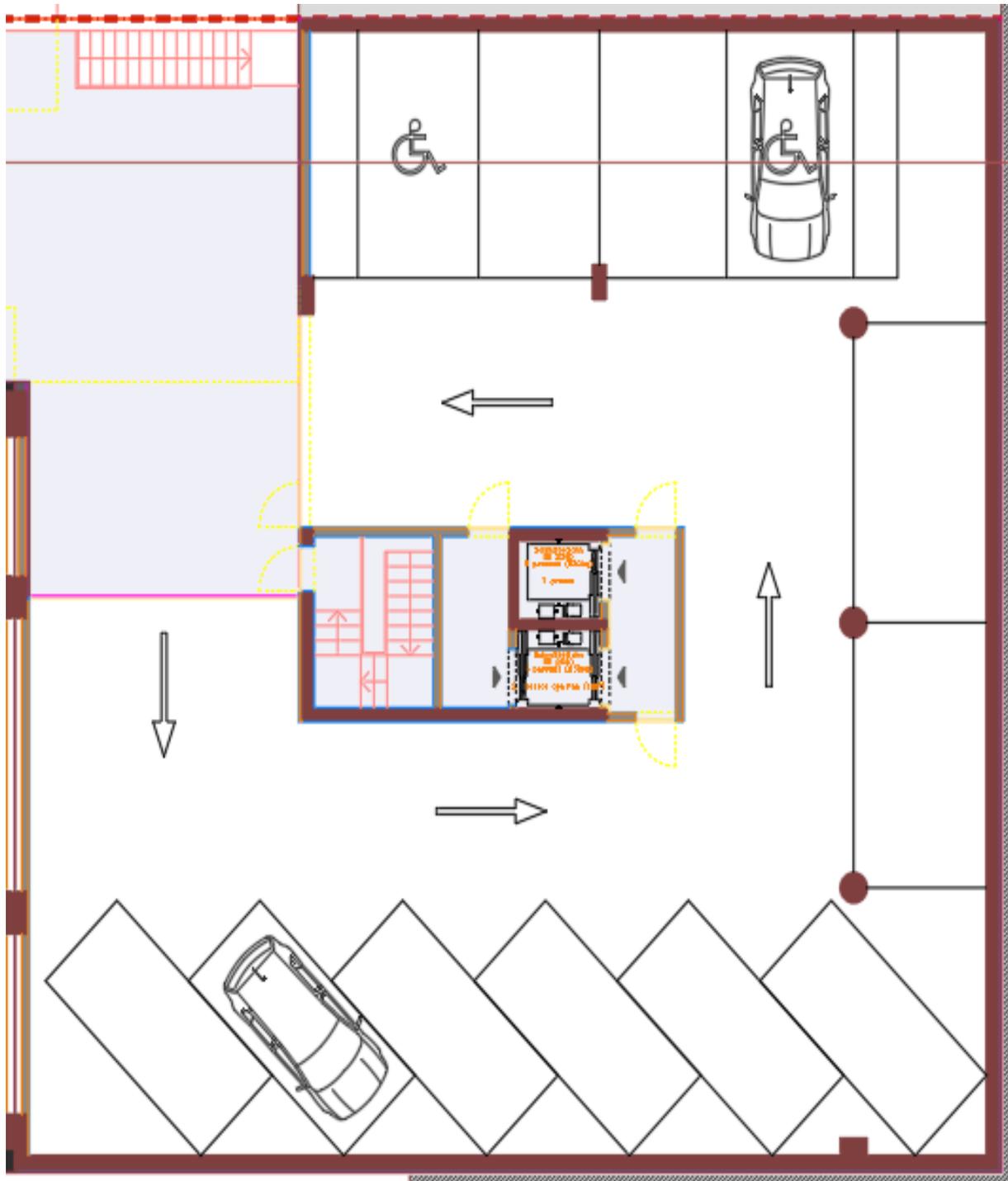
- Abiko, A. K., Almeida, M. A. P. de, & Barreiros, M. A. F. (1995). *Urbanismo: História e Desenvolvimento* (p. 47).  
[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529978/mod\\_resource/content/0/Textos/textotecnicocoPCC16.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4529978/mod_resource/content/0/Textos/textotecnicocoPCC16.pdf)
- Aguiar, J. B. (2009). *Materiais de Construção II - Apontamentos* - (p. 24).
- Barros, J., Lourenço, L., Oliveira, L., Silva, S., & Lopes, P. (2015). *LEGOUSE - Habitação modular pré-fabricada: conceito, construção e ensaios* (p. 34). IV Congresso Ibero-Americano sobre Betão Auto-compactável.
- Bastos, E. F. (2009). *Caracterização Física e Mecânica de Painel de OSB do Tipo Form*. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - Universidade Estadual de Campinas.
- Benevolo, L. (1997). *História da Cidade* (Editora Pr).
- Boafo, F. E., Kim, J.-H., & Kim, J.-T. (2016). *Performance of Modular Prefabricated Architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways* (p. 16).
- Civil, E. (n.d.). *Dicionário Engenharia Civil - Courette* -  
<https://www.engenhariacivil.com/dicionario/courette>
- Costa, J. A. (2013). *Construção préfabricada - Análise da Utilização da Préfabricação nas Várias Etapas do Processo Construtivo* [Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto]. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/67564/2/27567.pdf>
- Couto, A. B., & Couto, J. P. (2007). *Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação* (p. 5).  
<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/8520/2/132.pdf>
- Cruz, H., & Nunes, L. (n.d.). *A Madeira como Material de Construção* (p. 27).
- Darós, J. (2019). *O que é LOD em um projeto BIM?* <https://utilizandobim.com/blog/o-que-e-lod-bim/>
- Dirlich, S. (2012). *The Building Stock and Traditional Building Principles: Sustainability Assessment for Historic Buildings* (p. 11).
- Farcimar. (2018). *Painéis estruturais*. <http://www.farcimar.pt/pt/produtos-e-servicos/paineis/paineis-estruturais/#>
- Fernandes, A. P. da S. (2009). *HABITAÇÃO (coletiva) MODULAR PRÉ-FABRICADA: Considerações, origens e desenvolvimento*. Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra.
- Ferreira, R. M. (2006). *Ciência dos Materiais de Construção*.
- Freitas, J. A. T. de, & Tiago, C. (2014). *Análise Elástica de Estruturas Reticuladas*.
- Freitas, F. M. C. (2014). *Construção Modular Sustentável - Propostas de um projeto tipo* - [Instituto Politécnico de Viana do Castelo].  
[http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/1146/1/Fiilipe\\_Freitas.pdf](http://repositorio.ipvc.pt/bitstream/20.500.11960/1146/1/Fiilipe_Freitas.pdf)
- Funari, P. P. A. (2002). *Grécia e Roma* (J. Pinsky (ed.)). Editora Contexto (Editora Pinsky Ltda.).
- Gaspar, A. P. (2013). *CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO EM LIGHT STEEL FRAMING - Alternativa Viável à Construção Tradicional* -. Universidade Lusófona do Porto.
- Gibb, A. G. F. (1999). *Off-site Fabrication: Prefabrication, Pre-assembly and Modularisation*. Wiley.
- Gonçalves, A., Bettencourt, A., Cardoso, A., Rodrigues, A. G., Oliveira, A. de, Lemos, F. S., Costa, J., Marques, J., Meireles, J., Silva, L. C. da, Fontes, L., Bandeira, M., Silva, M. C., Martins, M., Remoaldo, P. C., & Pereira, P. (2009). *Minho, Traços de Identidade* (U. do Minho (ed.)).
- Gouveia, J. P., Melo, F. de, & Lourenço, P. B. (2006). *Alvenaria Estrutural: Aplicação a um Caso de Estudo* (p. 11).
- Kaefer, L. F. (1998). *A Evolução do Concreto Armado* (p. 43).
- Lawson, R. M. (2007). Building design using modules. In *The Steel Construction Institute* (Issue 15(9), pp. 1–16). The Steel Construction Institute.

- Lawson, R. M., & Way, A. G. J. (2017). *PROBABLY THE HIGHEST LIGHT STEEL FRAME STRUCTURE IN EUROPE* (p. 3). Light Steel Forum.
- Leite, J. C. P. S., & Lahr, F. A. R. (2015). *Diretrizes básicas para o projeto em Wood Frame* (p. 16).
- Lopes, T., & Amado, M. P. (2012). *Pré-fabricação aplicada ao contexto da reabilitação de edifícios* (p. 12).
- Lopes, V. F. de A. (2015). A integração de técnicas BIM (Building Information Modeling) no projeto e na construção de estruturas de madeira [Escola de Engenharia - Universidade do Minho]. In *The integration of BIM technology (Building Information Modeling) in the design and construction of timber structures*.  
<http://ezproxy.leedsbeckett.ac.uk/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsrca&AN=rcaap.openAccess.1822.40362&site=eds-live&scope=site>
- Lourenço, P. B., & Branco, J. (2012). Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI. In *História da Construção: Arquiteturas e Técnicas Construtiva* (pp. 199–211).  
<http://hdl.handle.net/1822/26503>
- Lucchetti, J., Forbes, F., Gardiner, P., Murray-Parkes, J., & Bai, Y. (2017). *Handbook for the Design of Modular Structures*. Monash University.
- Machado, I. M. da C. (2015). *Pré-fabricação em betão armado - Uma abordagem sobre a indústria e seus processos*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- Magalhães, A. J. S. de. (2013). *A pré-fabricação em betão em Edifícios*. Instituto Superior de Engenharia Do Instituto Politécnico do Porto.
- Mark, R., & Hutchinson, P. (1986). On the Structure of the Roman Pantheon. *The Art Bulletin*, 68(1), 24. <https://doi.org/10.2307/3050861>
- Marques, N. M. B. (2012). *Painéis de fachada em betão pré-fabricado - Comportamento térmico e estrutural*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Masi, F., Stefanou, I., & Vannucci, P. (2018). On the origin of the cracks in the dome of the Pantheon in Rome. *Engineering Failure Analysis*, 92, 587–596.  
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.06.013>
- Mohammad, M., Bradford, D., Rammer, D., & Pryor, S. E. (2013). *Connections in cross-laminated timber buildings - Chapter 5* - FPInnovations and Binational Softwood Lumber Council.
- Molina, J. C., & Junior, C. C. (2010). *Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira*.
- Moreira, A. M. (2008). *Materiais de Construção I - Materiais Compósitos* - (p. 12).
- Nascimento, M. F., Bertolini, M. da S., Panzera, T. H., & Lahr, F. A. R. (2014). *Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil*.
- Especificações para unidades de alvenaria. Parte 1: unidades cerâmicas, (2016).
- Oliveira, L. C. de. (2018). *A habitação modular: casas de madeira no Portugal contemporâneo*. Universidade Lusíada de Lisboa.
- Pádua, M. (n.d.). *Coliseu - Entre a arena e o estádio* - (p. 5).
- Panjehpour, M., Ali, A. A. A., & Voo, Y. L. (2013). Structural Insulated Panels: Past, Present and Future. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 7.
- Pasquale, G. Di. (2001). *História da Ciência e da Tecnologia - Da Pré-História Renascimento* (S. A. ASA Editores II (ed.)).
- Patinha, S. M. P. de A. (2011). *CONSTRUÇÃO MODULAR - DESENVOLVIMENTO DA IDEIA: CASA NUMA CAIXA*. Universidade de Aveiro.
- Portela, H. C. (2018). *Reabilitação Sustentável de Edifícios de Construção Tradicional*. Universidade de Aveiro.
- Portaria nº472/2007 - Regulamento de Autorizações Especiais de Trânsito -, (2007).
- Decreto-Lei nº 220/2008, de 12 de novembro, (2008).
- Decreto-Lei nº118/2013, de 20 de agosto, (2013).
- Rodrigues, S. M. (2018). *Grécia Antiga e Usos do Passado: Sobre a Arquitetura e o Tempo Presente* (p.

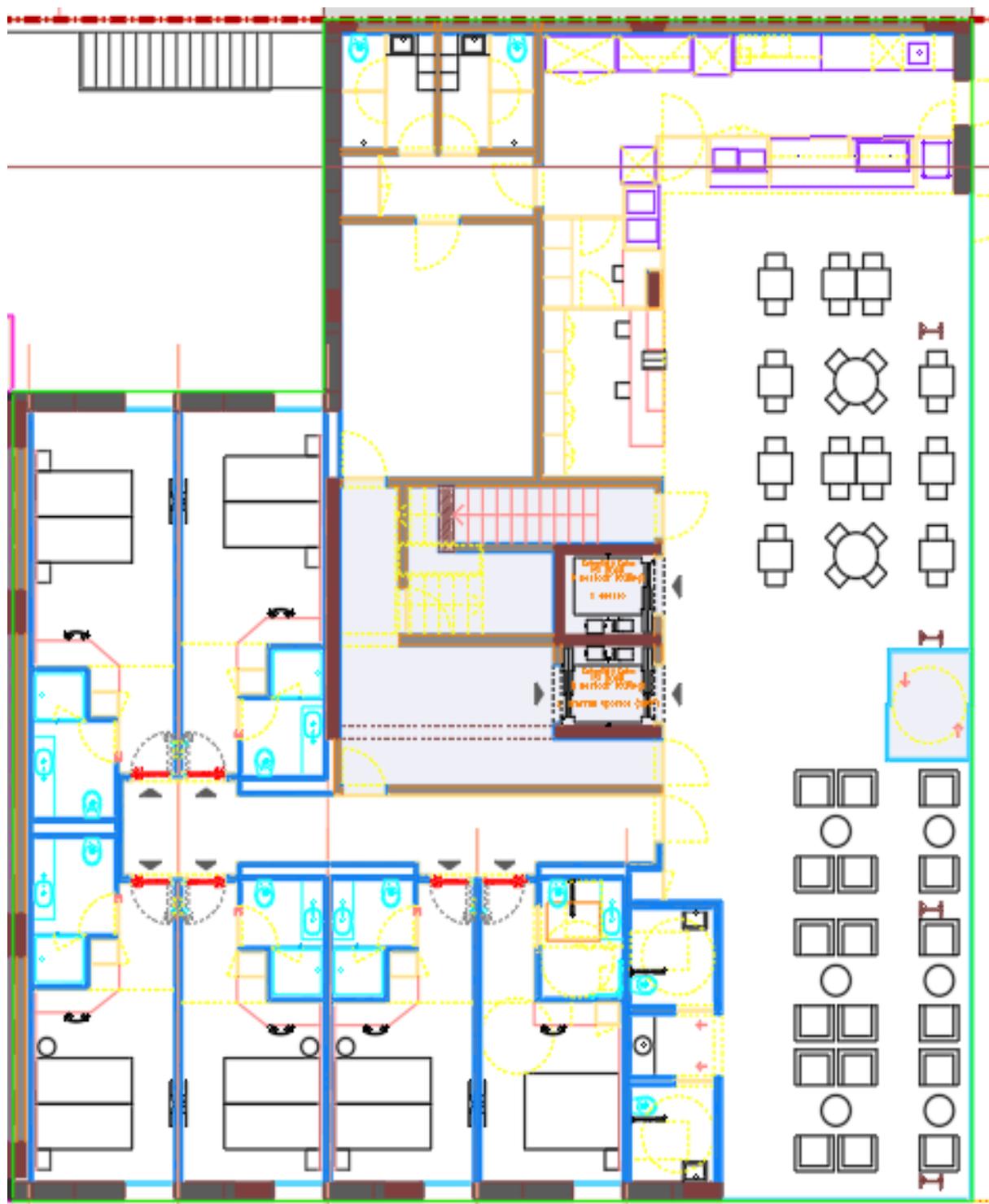
- 10).
- Saraiva, P. J. R. (2013). *Estudo comparativo de soluções em alvenaria estrutural e betão armado*. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Silva, P. D. M. da. (2012). *Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich*. Universidade do Minho.
- Silva, S. M. da. (n.d.-a). *Capítulo 7 - Fundamentos de acústica ambiental e de edifícios*.
- Silva, S. M. da. (n.d.-b). *Conforto térmico nos edifícios*.
- Smith, R. E. (2010). *Prefab Architecture - A guide to modular design and construction* -. John Wiley & Sons, Inc.
- Staib, G., Dorrhofer, A., & Rosenthal, M. (2008). *COMPONENTS AND SYSTEMS - Modular Construction: Design, Structure, New Technologies* -.
- Team, W. (2017). *What is a Rigid Frame Building?*  
<https://www.whirlwindsteel.com/blog/bid/378452/what-is-a-rigid-frame-building>
- Torres, M. I. R. P. (2015). *Um certo modo de viver a memória que somos nós - Proposta de intervenção a partir do legado de Raffaele Stern* -. Universidade do Porto.
- Vasconcellos, J. C. de. (n.d.). *A Construção do Pantheon e o Tratado de Vitruvius* (p. 12).
- Velamati, S. (2012). *FEASIBILITY, BENEFITS AND CHALLENGES OF MODULAR CONSTRUCTION IN HIGH RISE DEVELOPMENT IN THE UNITED STATES: A DEVELOPER'S PERSPECTIVE*. University of Pennsylvania.

## ANEXOS

### Anexo A.1. e A.2 – Plantas do piso -2 e -1



### Anexo A.3. – Planta do piso 0



### Anexo A.4. – Plantas do piso 1 e 3



### Anexo A.5. – Plantas do piso 2 e 4

