U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA UNIVERSIDADE DO PORTO

EDIFÍCIOS TIMBERFRAME – DIMENSIONAMENTO DE ACORDO COM EC5 E APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS BIM

LORENZO DE SOUZA FERNANDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor José Manuel Marques Amorim de Araújo Faria

JULHO DE 2022

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Os orientadores reservam-se nos direitos sobre os créditos deste documento.

À minha família,

The sea's only gifts are harsh blows, and occasionally the chance to feel strong. Now, I don't know much about the sea, but I do know that that's the way it is here; and I also know how important it is in life not necessarily to be strong but to feel strong, to measure yourself at least once, to find yourself at least once in the most ancient of human conditions, facing the blind deaf stone alone, with nothing to help you but your hands and your own head.

Primo Levi

AGRADECIMENTOS

É com muito orgulho e gosto que chego ao final do meu percurso académico, relembrando não apenas os momentos bons e de sucesso, mas também aqueles em que errei e me encontrei perdido. Por isso, agradeço então, a todos que de alguma forma partilharam comigo esse caminho e me ajudaram para que fosse possível chegar até aqui, deixando assim um agradecimento humilde, mas puramente verdadeiro.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor José Amorim Faria por todos os seus conhecimentos partilhados, sejam eles na área da engenharia como também sobre a vida, assim como toda a sua disponibilidade e motivação ao longo da dissertação desenvolvida.

A seguir gostaria de deixar uma palavra de agradecimento a Cerne Projeto e Consultoria, em especial enfoque ao Engenheiro Jerónimo Botelho por todo o seu conhecimento e experiência disponibilizados, à Engenheira Sofia Grilli e a todos os colegas da Typographia Cowork pelos momentos partilhados.

Aos amigos do meu Brasil, que nunca deixaram de falar comigo e me motivaram ao longo desses cinco anos, com relevância ao Maurício, Nati, Roberta e Bruno.

Ao Fellipe Ranheri, meu irmão Bitinho, por ter voado comigo nesse sonho de viver no exterior e ter partilhado comigo momentos únicos que ficarão guardados comigo para sempre.

Ao Juhan, Marquinhos, Jg, Mussa, Matheusinho, Nico e Tato pela amizade sincera, sem esquecer de todos os que em algum momento foram importantes para mim durante essa jornada.

Ao José Araújo, amigo que posso chamar de irmão, por me ajudar no momento em que mais precisei, pela amizade verdadeira, pelas memórias e por sempre me relembrar o caminho certo.

À minha Tia Madrinha Tânia e ao meu Tio Werner, agradeço do fundo do meu coração por sempre acreditarem em mim, por serem exemplos de profissionais de sucesso e por tudo o que já fizeram e fazem por mim.

Por último, agradeço aos meus pais, Cesar e Claudia, por me darem asas para voar, pelos ensinamentos, pelos valores transmitidos, pelo amor puro e verdadeiro e por toda a ajuda nos momentos bons e ruins, acreditando e confiando em mim desde o primeiro dia da minha jornada. A vocês, meus pais, que estavam comigo em pensamento todos os dias em que me levantei a mais de 9000km de casa, um obrigado do fundo do meu coração.

A todos um Muito Obrigado!

RESUMO

Nos dias atuais, a atenção relativamente às mudanças climáticas, gases de efeito de e a escassez de recursos naturais fez surgir diversas pesquisas relacionadas com o desenvolvimento de tecnologias renováveis e com o tema da sustentabilidade em geral.

A madeira e derivados aparece como um material construtivo sustentável, podendo ser uma alternativa muito boa em relação a outros materiais utilizados na construção civil, tanto os tradicionais como os mais modernos e inovadores. Podem-se destacar as suas características ambientais, começando por ser um material sustentável, de fonte renovável e com um baixo consumo energético, sendo aplicada na construção com um nível significativamente baixo de emissão de gases de efeito estufa.

Ao mesmo tempo que a madeira como material de construção vem se desenvolvendo, tem-se verificado um desenvolvimento da metodologia BIM (Building Information Modeling), de forma que surge assim um interesse generalizado em formas de integrar estes dois domínios do conhecimento. O BIM, sendo uma metodologia que desenvolve projetos multidisciplinares e integrados e, faz uso de softwares e modelos virtuais que acompanham as edificações desde o início da sua construção, pode dessa forma proporcionar o uso de ferramentas cruciais que podem contribuir para a realização de construções em madeira e dos respetivos projetos de arquitetura, estruturas e das demais engenharias.

Ao nível de estado da arte, apresenta-se uma síntese sobre a aplicação do BIM no projeto e realização das construções em madeira.

Faz-se uma breve introdução ao Eurocódigo 5, parte 1-1, documento principal utilizado para definir as regras de verificação de estabilidade dos elementos estruturais da moradia estudada.

Em seguida, a dissertação apresenta o desenvolvimento de um modelo em Autodesk REVIT para uma estrutura de madeira de uma moradia a construir em Lavra, Matosinhos, usando uma solução em Timber Frame. De forma a dar a conhecer a moradia e a região em que a mesma está inserida é realizada uma caracterização geral do local, sendo analisadas as temáticas da demografia, edificado, transportes e infraestruturas, pontos essenciais para um estudo prévio da realização do projeto.

Apresenta finalmente exemplos de verificação estrutural para os estados limites de resistência da estrutura de madeira da moradia a executar em madeira lamelada colada da classe GL24h. Apresentam-se exemplos de cálculos estruturais de elementos de madeira da moradia, mais especificamente de um pilar, de uma viga e da asna da cobertura, sendo os três cálculos realizados de acordo com o EC5, parte 1-1 e recorrendo-se, no caso da asna, ao software Autodesk Robot.

PALAVRAS-CHAVE: TIMBER FRAME, MADEIRA LAMELADA COLADA, BIM, REVIT, ROBOT, EUROCÓDIGO 5.

ABSTRACT

These days, the attention paid to climate change, greenhouse gases, and the scarcity of natural resources has given rise to a lot of research related to the development of renewable technologies and the topic of sustainability in general.

Timber and its derivatives appear as a sustainable construction material and can be a very good alternative to other materials used in construction, both traditional and more modern and innovative ones. Its environmental characteristics can be highlighted, starting by being a sustainable material, from a renewable source and with a low energy consumption, being applied in construction with a significantly low level of greenhouse gas emissions.

At the same time that wood as a building material has been developing, there has been a development of BIM (Building Information Modeling) methodology, so that there is widespread interest in ways to integrate these two fields of knowledge. BIM, being a methodology that develops multidisciplinary and integrated projects and makes use of software and virtual models that accompany the buildings from the beginning of their construction, can thus provide the use of crucial tools that can contribute to the realization of timber constructions and the respective architectural, structural, and other engineering projects.

At the state-of-the-art level, an overview is presented on the application of BIM in the design and realization of timber constructions.

A brief introduction is made to Eurocode 5, part 1-1, the main document used to define the stability verification rules for the structural elements of the house studied.

Next, the dissertation presents the development of a model in Autodesk REVIT for a timber structure of a house to be built in Lavra, Matosinhos, using a Timber Frame solution. In order to present the house and the region where it is located, a general characterization of the place is made, analyzing the demography, buildings, transportation and infrastructures, essential points for a previous study of the project.

Finally, it presents examples of structural verification for the resistance limit states of the timber structure of the house to be made of GL24h glued laminated timber. Examples of structural calculations of timber elements of the house are presented, more specifically of a column, a beam and the roof truss. All three calculations were performed according to EC5, part 1-1 and, in the case of the roof truss, using Autodesk Robot software.

KEYWORDS: TIMBER FRAME, MADEIRA LAMELADA COLADA, BIM, REVIT, ROBOT, EUROCÓDIGO 5.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....i

RESUMO.....iii

ABSTRACT.....v

1. INTRODUÇÃO..... 1

1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO..... 1

1.2. O QUE É O TIMBERFRAME..... 3

1.2.1. DEFINIÇÃO GERAL..... 3

1.3. ÂMBITOS E OBJETIVOS..... 5

1.4. METODOLOGIA SEGUIDA E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....6

2. BIM APLICADO A CONSTRUÇÃO EM MADEIRA..... 7

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA MODELAÇÃO NA CONSTRUÇÃO..... 7

2.2. BUILDING INFORMATION MODELING..... 8

2.3. DIFERENÇA DO BIM PARA MODELAGEM EM CAD..... 9

2.4. NÍVEL DE MATURIDADE..... 9

2.5. DIMENSÕES DO BIM.....11

2.6. NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO (*LEVELS OF DEVELOPMENT – LOD*).....13

2.7. CURVA DE MACLEAMY.....15

2.8. APLICAÇÃO DO BIM NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA.....16

2.8.1. A UTILIZAÇÃO DO BIM PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA PRÉ-FABRICADA.....17

2.9. APLICAÇÃO PRÁTICA.....19

2.9.1. INTRODUÇÃO.....19

2.9.2. BIM NA PRÁTICA EM EDIFÍCIOS DE MADEIRA.....21

2.10. EXEMPLO.......24

3. BREVE SÍNTESE DO EUROCÓDIGO 5 – PARTE 1.1

.....28

3.1. APRESENTAÇÃO GERAL.....28

3.2. BASE DE PROJETO.....30

3.3. MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS……..……..31
3.3.1. VALOR DE CÁLCULO DE UMA PROPRIEDADE DE UM MATERIAL…… .……31
3.3.2. VALOR DE CÁLCULO DOS DADOS GEOMÉTRICOS…… ...……..….34
3.3.3. VALOR DE CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS……...……34
3.3.4. VALORES DE CÁLCULO DE K_{MOD} E K_{DEF}…… ...……34
3.4. AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES……... ……..38
3.4.1 INTRODUÇÃO…… ... ……38
3.4.2. CLASSES DE SERVIÇO E DE DURAÇÃO DAS AÇÕES...…….... ……39
3.5. ESTADOS LIMITES..…… ... ……41
3.5.1 DEFINIÇÃO GERAL……...…...41
3.5.2. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS – VALORES DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE RIGIDEZ…… ...…42
3.5.3. ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS……... ……42
3.5.4. ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO…… .... ……43
3.6. CAPACIDADE RESISTENTE DE MATERIAIS– VALORES A USAR NOS CÁLCULOS… ...…..46
3.6.1. CLASSES DE RESISTÊNCIA……....……46

4. CASO DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO LOCAL…… ..……52

4.1. INTRODUÇÃO…….. ……52
4.2. LAVRA E A SUA CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA…….……..52
4.3. LAVRA ATUALMENTE – ENQUADRAMENTO TERRITORIAL…….. …….53
4.4. POPULAÇÃO…… ..…..55
4.5. ATIVIDADES ECONÔMICAS…… ….56
4.6. DESPORTO, CULTURA E LAZER…… 57
4.7. EDIFICADO…….……59
4.8. ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE…… ……60
4.8.1. REDE DE SISTEMA CICLÁVEL…… ……60
4.8.2. REDE RODOVIÁRIA MUNICIPAL……...……60
4.8.3 REDE DE MOBILIDADE…… . ……62
4.9. APRESENTAÇÃO GERAL DO CASO DE ESTUDO…… ..……..…63
4.9.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO……... ……63

5. MODELO REVIT DO CASO DE ESTUDO……..……67

5.1. INTRODUÇÃO…… ... ……67

5.2. METODOLOGIA ……..... ……..…69

5.2.1. AUTOCAD 2D…… ...……69

5.2.2. MODELO ROBOT…… .... ……70

5.3. MODELO REVIT……..... ……..71

5.4. OUTROS RESULTADOS…… ..... ……84

5.5. SÍNTESE…… 85

6. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE USANDO O EC5……87

6.1. INTRODUÇÃO …… ..…87

6.2. MADEIRA LAMELADA COLADA…… .. .90

6.3. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DE UM PILAR E UMA VIGA…… . .……91

6.3.1. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DO PILAR……..… ..…91

6.3.2. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DA VIGA…… ..…99

6.4. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ASNA DA COBERTURA…… ..…102

7. CONCLUSÃO…… ……114

7.1. NOVAS COMPETÊNCIAS ADQUIRIDAS…… .. ……..…114

7.2. ANÁLISE DO CUMPRIMENTO DE OBJETIVOS……..……114

7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS……..……115

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS…… ..……..…118

ANEXOS…… ……121

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 – Painéis abertos..... 2

Fig.1.2 – Painéis fechados com isolamento térmico..... 4

Fig.1.3 – Estrutura da parede externa…….5

Fig.1.4 – Detalhe Construtivo……..… ……..5

Fig.2.1 – Níveis de maturidade do BIM…… ……10

Fig.2.2 – Dimensões do BIM…… ..……..13

Fig.2.3 – Níveis de Desenvolvimento do BIM do LOD 100 ao LOD 500 (imagem da BIOMETICA) …… ……15

Fig.2.4 – Curva de MacLeamy…… . ……15

Fig.2.5 – Ciclo de Vida do BIM…… ……..16

Fig.2.6 – Painéis de CLT da Brock Commons Tallwood House…… ..……17

Fig.2.7 – Unidades modulares pré-fabricadas…… ..…..……18

Fig.2.8 – Esqueleto da pré-montagem de painéis e elementos de madeira pré-fabricados em CLT ……..…..…….18

Fig.2.9 - Fluxo de trabalho de um projeto BIM com adaptações para um projeto em madeira [adaptado de SCIUS, 2022]…… .. ……23

Fig.2.10 – Pormenorização Construtiva…….. . ……...25

Fig.2.11 – Comparação do modelo VDC com a execução……..… ……26

Fig.3.1 – Metodologia de Cálculo de Estruturas de Madeira (NEGRÃO & FARIA, 2009).. ….…31

Fig.3.2 – Componentes de deformação de uma viga (EC5)…… ...……..…45

Fig.4.1 – Obelisco da Memória……...……..53

Fig.4.2 – Enquadramento Territorial de Lavra…… ..... …..……54

Fig.4.3 – Planta de Enquadramento Territorial de Lavra……..…… .... ….……..55

Fig.4.4 – Complexo Municipal de Lavra……..……....……57

Fig.4.5 – Associação Clube de Desporto C+S de Lavra……..……... …..……..57

Fig.4.6 – Vista aérea da Praia da Agudela, Praia Pedras do Corgo, Praia das Pedras Brancas e Praia do Funtão…… .... ……...58

Fig.4.7 – Parque Ecológico Monte de São Brás…… .... ……58

Fig.4.8 – Tanques da Praia de Angeiras do período Romano……. ... ……..59

Fig.4.9 – Sistema Ciclável…….....……..60

Fig.4.10 – Principais vias de comunicação do Concelho…….....……..61

Fig.4.11 – Sistema Rodoviário……61

Fig.4.12 – Sistema de Transporte Público – Área de Cobertura……62

Fig.4.13 – Imagem aérea do terreno, destaque para a existência do poço……65

Fig.4.14 – Terreno (fotografia do arquiteto)……65

Fig.4.15 – Planta do rés-do-chão……65

Fig.4.16 – Planta do Piso 1……66

Fig.5.1 – Arquitetura, estrutura e sistemas (hidráulico, elétrico, etc.)……68

Fig.5.2 – Planta do teto do piso 0……69

Fig.5.3 – Planta do teto do piso 1……70

Fig.5.4 – Planta da cobertura……70

Fig.5.5 – Modelo estrutural Robot 3D……71

Fig.5.6 – Linhas de nível, grades e dimensões da moradia……72

Fig.5.7 – Sapatas fictícias e pilares principais……72

Fig.5.8 – Vigas de madeira……73

Fig.5.9 – Viga central……73

Fig.5.10 – Vigas e tarugos do piso 1 e pavimento do piso 0……74

Fig.5.11 – Teto do piso 1, escada e paredes estruturais do piso 0……74

Fig.5.12 – Exemplo de asna composta, desenho retirado de [7]……75

Fig.5.13 – Asna composta adotada para a moradia em AutoCAD……75

Fig.5.14 – Asna composta adotada para a moradia em Revit……76

Fig.5.15 – Asna composta adotada para a moradia em Revit……76

Fig.5.16 – Painel Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 4 - alguns dos 6 tipos de painéis……77

Fig.5.17 – Criando família no Revit……78

Fig.5.18 – Disposição padrão para criação de famílias de colunas estruturais métricas……78

Fig.5.19 – Configuração final do Painel Tipo Base……79

Fig.5.20 –Identificação do Painel……79

Fig.5.21 – Propriedades do painel e a visibilidade das suas componentes……80

Fig.5.22 – Reprodução dos painéis da figura 5.16 em 3D……81

Fig.5.23 – Respetivas abas de propriedade e visibilidade dos painéis……81

Fig.5.24 – Vista Sul da moradia e respetivos painéis……82

Fig.5.25 – Vista Sul da moradia e respetivos painéis em Revit……82

Fig.5.26 – Vista Norte da moradia através do Render Enscape……83

Fig.5.27 – Vista Sul da moradia através do Render Enscape…… ……..83
Fig.6.1 – Corte transversal do tronco de uma árvore……88
Fig.6.2 – Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras (WILCOX, 1991)…..… 88
Fig.6.3 – Madeira Lamelada Colada……..… ..91
Fig.6.4 – Pilar escolhido para a verificação de estabilidade…… ……92
Fig.6.5 – Valor básico da velocidade de referência do vento……93
Fig.6.6 – Categoria de terreno e respectivos parâmetros, retirado de []……94
Fig.6.7 – Esboço de aplicação das cargas no pilar…… ……96
Fig.6.8 – Viga escolhida para exemplo de cálculo de verificação de estabilidade…… ……99
Fig.6.9 – Esboço de cálculo…… ……..100
Fig.6.10 – Asna a ser verificada e as suas secções……..…102
Fig.6.11 – Direção do vento com $\theta = 0°$……..……103
Fig.6.12 – Zonas da cobertura……104
Fig.6.13 – Quadro extraído do EC1-4…… ……104
Fig.6.14 – Asna desenhada em Autodesk Robot……..…108
Fig.6.15 – Propriedades da Asna…… .. 109
Fig.6.16 – Cargas aplicadas nos nós…… ……109
Fig.6.17 – Escolha das combinações…… ……110
Fig.6.18 – Diagrama de cargas Axiais…… ……111
Fig.6.19 – Diagrama de cargas Transversais……111
Fig.6.20 – Diagrama de Momentos……111
Fig.6.21 – Aba para projetos em madeira……..…112
Fig.6.22 – Aba de cálculos para projetos em madeira……112
Fig.6.23 – Janela informativa referente aos cálculos da asna……113

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 – Coeficientes parciais de segurança, γ_M ……..…….33

Quadro 3.2 – Valores de k_{mod} [Adaptado de EC5]…… ……..35

Quadro 3.3 – Valores de k_{def} (Adaptado do EC5)……37

Quadro 3.4 – Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1:1994)…… ….…39

Quadro 3.5 – Classes de serviço (Adaptado do EC5)……..…….40

Quadro 3.6 – Classe de duração das ações (Adaptado de EC5)…… ……40

Quadro 3.7 - Deformações admissíveis, de acordo com o EC5, parte 1.1……46

Quadro 3.8 – Classes de resistência das resinosas (Adaptado de EC5)……..47

Quadro 3.9 – Classes de resistência das folhosas (Adaptado de EC5)…… 48

Quadro 3.10 – Valores característicos da resistência e rigidez (em N/mm^2) e da massa volúmica (em kg/m^3) (para madeira lamelada-colada homogênea)…… ….49

Quadro 3.11 – Valores característicos da resistência e rigidez (em N/mm^2) e da massa volúmica (em kg/m^3) (para madeira lamelada-colada combinada)…… 50

Quadro 4.1 – Variação da população residente, INE……..…..…56

Quadro 4.2 – Nº de habitantes em função da faixa etária na União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo entre 2011 e 2021……...…56

Quadro 4.3 – Edifícios por época de construção da União de Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo, INE……..…... .59

Quadro 4.4 – Variação do número de edifício por categoria de alojamento familiar, INE……. .60

Quadro 5.1 – Exemplo de troço da tabela “Structural Columns” inserida em anexo…… …84

Quadro 5.2 – Exemplo de troço da tabela “Structural Framing” inserida em anexo…… ……85

Quadro 6.1 – Valores de $c_{pe,10}$……....105

Quadro 6.2 – Valores de $c_{pe,10}$ com a adição e subtração de 0,2 e 0,3 respectivamente……105

Tabela 6.3 –Valores de $q_p(z) \cdot c_p$…… …107

Tabela 6.4 –Valores de Ψ……110

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

BIM – Building Information Modeling

CLT – Cross Laminated Timber (Madeira Laminada Cruzada)

GLT – Glued Laminated Timber (Madeira Laminada Colada)

OSB – Oriented Strand Board (Aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas)

LOD – Levels of Development

1
INTRODUÇÃO

1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO

A história da construção em madeira é muito antiga e remonta ao início das civilizações, devido à abundância da madeira em diversas regiões do planeta e à sua relativamente fácil extração e manuseio.

Há indícios, através de arqueologistas, das primeiras casas de madeira no período Mesolítico (aproximadamente 10.000 anos atrás) e é possível dizer que o *Timber Frame* (Estrutura de madeira, em tradução literal, conceito explicado mais à frente neste capítulo) tem a suas raízes na cultura egípcia cerca de 2000 A.C, [1].

Quando os primeiros colonizadores chegaram à América eles se depararam com um enorme número de obstáculos, sendo um deles o fato de não haver casas locais que pudessem ser copiadas. Os modelos europeus de construção não ajudaram muito devido à diferença de climas e ambientes, pelo que as primeiras casas eram bastante primitivas, [2].

Com o passar do tempo foi preciso desenvolver um método próprio para a construção. As matérias-primas eram abundantes, mas apenas quando os primeiros artesãos, especialistas e as suas ferramentas específicas chegaram à América é que foi possível começar a copiar os métodos de construção que prevaleciam na Europa naquela época. Começaram por realizar uma moldura

de madeira ou filetes de madeira que eram preenchidos com galhos tecidos ou lama e só mais tarde, quando os tijolos começaram a ficar disponíveis, os espaços nas molduras foram preenchidos com os tijolos. Entretanto, foi necessário alterar o método de construção anterior já que, com o passar do tempo, a estrutura não resistir bem ao ambiente local, aparecerem fissuras e anomalias de todos os tipos, [3].

Com o passar dos anos, já por volta de 1830, os colonizadores que migravam para o oeste nos Estados Unidos tiveram como necessidade a criação de um modo rápido de construção, sem precisar de uma mão de obra fortemente especializada. Com a recente construção da ferrovia local no país, foi possível o envio de madeiras de menor dimensão para as pradarias sem matéria-prima, e com as novas tecnologias de serração e secagem e a produção de pregos na época, foi então exequível a realização de um novo sistema de construção chamada "Stick Framing".

Tal método de construção tornou-se predominante após o grande incêndio de Chicago em 1871, quando uma grande parte da cidade precisou ser reconstruída rapidamente.

Com o aparecimento da revolução industrial em meados do século XIX, apareceram novos produtos e inovações e os recursos de madeira e as construções em madeira abrandaram abruptamente. Novas serrações passaram a cortar produtos de madeira prontamente com dimensões mais pequenas a partir de árvores mais pequenas. O novo estilo de casa americana podia então ser construída mais rapidamente e de forma menos dispendiosa. Essas casas do final do século XIX e início do século XX foram chamadas de "baloon framing".

Poucos anos após a criação do Baloon frame (construção em balão) foi implementada a "Platform Construction" sendo utilizado cumprimentos menores da madeira serrada. Tal sistema apresenta um chão emoldurado (framed) e completado com paredes construídas em cima, um teto emoldurado por cima das paredes e o telhado é realizado com treliças para finalizar a estrutura.

Apesar de a industrialização e a modernização da América tornarem obsoletas as construções em madeira, por volta de 1970, muitas pessoas ao redor do mundo começaram a refletir sobre o seu lugar na sociedade e na natureza, surgindo assim a necessidade da preocupação com o ambiente. Considerando também o avanço tecnológico e o desenvolvimento de novos materiais em madeira (engineered timber – madeira industrializada, em tradução livre), o timber frame voltou a ser uma alternativa de construção atraente, [4].

O fim do século XX e todo século XXI, consideradas as alterações climáticas e a procura por um Mundo mais sustentável, estão a conduzir a um crescente entusiasmo de toda a sociedade pelo uso das soluções à base de madeira e derivados.

O autor insere-se no conjunto de pessoas que tem um especial gosto pelas soluções construtivas em madeira. Daí surgiu a motivação inicial fundamental para esta dissertação. Paralelamente, surgiu a oportunidade de realizar a dissertação em ambiente empresarial na empresa de serviços

de engenharia do Porto, CERNE – Engenharia e Construção, Lda, que proporcionou a realização de um estágio, no escritório da empresa, durante o período de realização da dissertação. Preencheu-se assim uma segunda vontade do autor, a realização de um trabalho aplicado em ambiente empresarial.

Finalmente, o tema da dissertação envolveu o desenvolvimento de trabalho na área do BIM, através da utilização do software REVIT, disponibilizado pela CERNE, o que constitui um terceiro ponto de motivação importante do autor com vista ao desenvolvimento da dissertação, já que o BIM e o uso de software inovador em geral constituem um dos objetivos do autor com vista a uma melhor e mais rápida integração no mercado de trabalho.

1.2. O QUE É O TIMBER FRAME?

1.2.1 Definição geral

De acordo com a *Timber Research and Development Association (TRADA), o método predominantemente utilizado no Reino Unido de construção timber frame é o "platform frame", que utiliza um padrão relativamente simples, testado e de confiança. Referência!!!!*

Os 'Open Panels' (painéis abertos) que foram pré fabricados na fábrica são entregues no local da obra e pousam diretamente na plataforma formada pela fundação do edifício e pela soleira/placa única de piso térreo. Os painéis são fixados na posição de projeto com pregos e então é instalado o primeiro piso elevado de forma a criar outra plataforma. O chão é constituído por placas de OSB ou similar apoiadas em vigas de secção retangular (hoje em dia podem ser vigas industrializadas de madeira lamelada colada, CLT ou similares).

Então, novas paredes executadas com painéis estruturais à base de madeira são posicionadas e fixadas no topo da plataforma do primeiro andar e a segunda plataforma é executada de modo análogo, sendo possível repetir o processo até chegar a altura desejada do edifício.

Para finalizar o processo de montagem, é preciso posicionar, fixar e apoiar o telhado (normalmente feito com vigas treliçadas). As estruturas de paredes e pavimentos são do tipo aberto. Após a instalação dos serviços, do isolamento e da aplicação de telas de impermeabilização onde aplicável, os painéis são fechados com placas de madeira, podendo ser forrados em alguns casos por placas de gessos cartonado, para permitir diferentes acabamentos superficiais.

Quando se trata de níveis mais avançados de timber frame, é possível realizar a obra quase toda em fábrica, vindo painéis de parede e painéis de pavimento completos e fechados para a obra, prontos a montar numa lógica "mecano".

As figuras 1.1 a 1.4 apresentam fotografias e um corte esquemático de uma construção feita em "Timber frame".

O Timber frame pode assim ser definido como uma construção executada com um esqueleto estrutural em madeira formado por pavimentos e paredes em "painéis 2D", baseado na construção em plataforma criada nos EUA no século XIX, formando uma construção de forma paralelepipédica em volume, rematada por coberturas inclinadas executadas à base de asnas em madeira industrializadas. Os revestimentos, acabamentos e instalações, nestas construções, são os correntes para "construção seca". As paredes não estruturais adicionais usadas na compartimentação são em gesso cartonado.



Fig.1.1 – Painéis abertos



Fig.1.2 – Painéis fechados com isolamento térmico

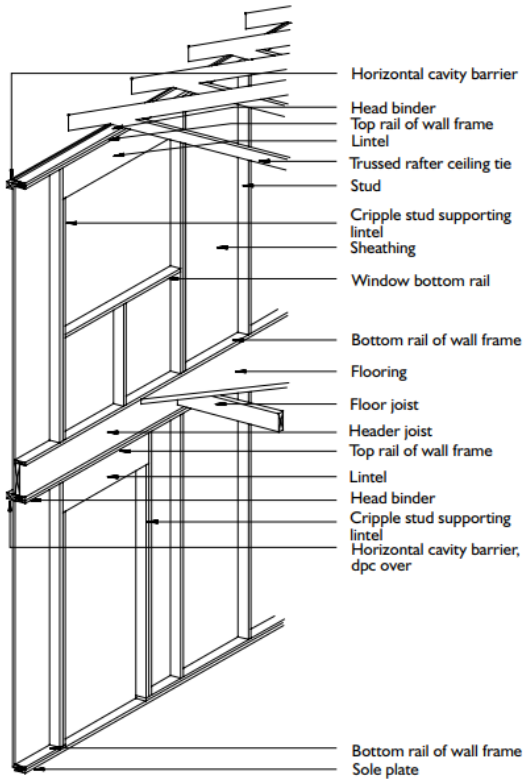


Fig.1.3 – Estrutura da parede externa

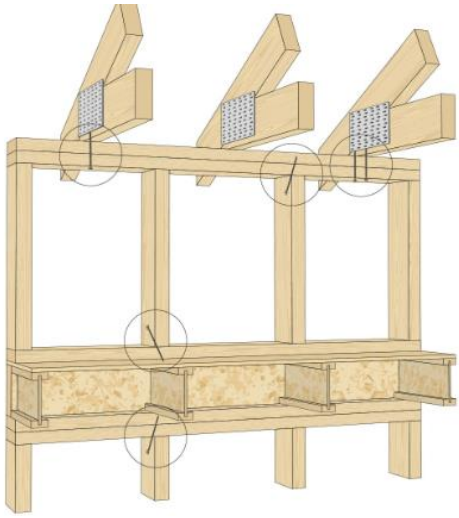


Fig.1.4 – Detalhe Construtivo

1.3. ÂMBITO E OBJETIVOS

Esta dissertação tem um caráter totalmente aplicado. Essencialmente, procedeu-se ao desenvolvimento de modelos simples em ROBOT e REVIT, usando bases fornecidas pela

CERNE, para um projeto da empresa em curso em desenvolvimento para uma moradia a ser executada na freguesia de Lavra, Matosinhos.

Ao nível de estado da arte, os objetivos da dissertação associaram-se a pesquisa efetuada nas áreas do BIM e da construção em Timber frame.

A melhoria de conhecimentos do autor na área do projeto de estruturas de madeira constitui um segundo objetivo de pesquisa que se pretendeu fosse materializado em ferramentas específicas de cálculo de elementos estruturais de acordo com o EC5, parte 1.1.

1.4. METODOLOGIA SEGUIDA E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A metodologia desenvolvida neste trabalho foi a seguinte:

1) Pesquisa e estudo genérico de artigos e outra documentação científica e técnica sobre BIM e construção em madeira e preparação de capítulo de síntese (capítulo 2), com estrutura de estado de arte;

2) Estudo mais detalhado do EC5, parte 1.1 e escrita de um capítulo de síntese sobre o assunto, materializado no capítulo 3;

3) Desenvolvimento de um modelo REVIT da estrutura de madeira para um caso de estudo fornecido pela empresa acolhedora, capítulos 4 e 5;
4) Desenvolvimento de modelos numéricos de cálculo de alguns elementos estruturais, usando o ROBOT e o EC5, parte 1.1, apresentado no capítulo 6.

Os capítulos 2 e 3 têm estrutura de "estado de arte" e são baseados em bibliografia existente. Os capítulos 4 a 6 correspondem a trabalho inédito integralmente desenvolvido pelo autor desta dissertação, baseados em elementos em Autocad e outros disponibilizados pela CERNE.

A presente dissertação é assim estruturada em 7 capítulos, tendo no capítulo 1 a introdução, onde se descreve o objetivo principal do trabalho, a metodologia seguida, o seu enquadramento e as bases bibliográficas e de dados existentes, usadas na produção da dissertação e no capítulo 7. apresentam-se as conclusões do trabalho desenvolvido e sugestões para desenvolvimentos futuros.

A dissertação inclui também um anexo com impressões ilustrativas dos cálculos desenvolvidos usando o ROBOT e as referências bibliográficas organizadas por ordem de aparecimento no texto.

2

BIM APLICADO À CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

2.1. CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA MODELAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Muitas pesquisas foram realizadas com o intuito de se alcançar a modelação de geometria 3D. No final dos anos 1960 foi desenvolvida uma forma de representar um conjunto de formas poliédricas de modo visual. Essas primeiras formas poliédricas podiam ser usadas para compor uma imagem, mas não para o projeto de formas mais complexas. Em 1973, a fácil criação e edição de formas 3D sólidas foram separadamente desenvolvidas por três grupos: Ian Braid, na Universidade de Cambridge; Bruce Baumgart, em Stanford; e Ari Requicha e Herb Voelcker, na Universidade de Rochester (Eastman 1999; Capítulo 2). Conhecidos como modelação de sólidos, esses esforços produziram a primeira geração de ferramentas práticas de projeto com modelagem 3D (EASTMAN *et al.*, 2014). Surgiram então duas formas de modelação de sólidos que competiram entre si, a *Boundary representation – B – rep* (representação por fronteira) e a *Constructive Solid Geometry – CSG* (Geometria Sólida Construtiva), mas que ao final de alguns anos acabaram por se fundir e permitir assim uma nova forma de modelação, [5].

A geração atual de ferramentas e *softwares* BIM, como por exemplo o Autodesk Revit®, foram desenvolvidas a partir de capacidades de m modelação paramétricas que emergiram como uma extensão das tecnologias *CSG* e *B- rep* além de envolver também muita pesquisa académica e desenvolvimento industrial por parte da Parametric Technologies Corporation® (PTC) nos anos 1980. Um pouco antes disso, em 1974, o professor Charles M. Eastman do Instituto de Tecnologia da Georgia, juntamente com uma equipe de colegas, cria o conceito BDS (*Building Description System* – Sistema de Descrição da Construção, que segundo Eastman, surge para mostrar que uma descrição baseada em computador de um edifício poderia replicar ou melhorar todos os pontos fortes de desenhos como um meio para elaboração de projeto, construção e operação, bem como eliminar a maioria de suas fraquezas, [5].

No mesmo seguimento do Professor Eastman, G.A. van Nederveen e F.P. Tolman publicam, em 1992, um artigo abordando as múltiplas visões de modelação da construção. Surge então, a primeira utilização do termo *Modelling Building Information*, que posteriormente deu origem ao *Building Information Modeling* (BIM). Pode-se dizer que surge juntamente com o termo uma nova mudança em relação ao tratamento de cada aspeto/informação. Do tratamento independente, passam a receber um tratamento integrado dos aspetos/informações na construção, [5].

Abre-se o caminho para a utilização do conceito de um sistema computacional coeso que permite o gerenciamento e controle das interações políticas, processos e tecnologias envolvidas nos

projetos de construção, assim como inicia a passagem dos projetos e documentos elaborados em CAD e ainda em papel, para a utilização de um banco de dados integrado.

2.2. BUILDING INFORMATION MODELING

Building Information Modeling – BIM é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria relacionada à arquitetura, engenharia e construção (AEC). Com a implementação da tecnologia BIM, é construído um modelo virtual preciso de uma edificação, e quando completo, o modelo digital permite analisar a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte a construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção. Para além disso, o uso do BIM possibilita o estudo do ciclo de vida das edificações e permite novas abordagens no planejamento de construções. Desempenha um papel relevante nas equipes de produção pois proporciona maior integração entre equipes de diferentes áreas e distintas etapas de projeto e execução. Quando é corretamente aplicado/implementado, resulta em construções com menor custo, menor prazo e gera uma melhoria na qualidade do produto final, [5].

Pode-se destacar outra abordagem/definição da tecnologia BIM. De acordo com a M.A. Mortenson Company o BIM é uma "simulação inteligente da arquitetura" que para atingir a uma implementação integrada deve exibir seis características principais. Essa simulação deve ser:

- Digital
- Espacial (3D)
- Mensurável (quantificável, dimensionável e consultável)
- Abrangente (incorporando e comunicando a intenção de projeto, o desempenho da construção, a construtibilidade, e incluir aspetos sequenciais e financeiros de meios e métodos)
- Acessível (a toda equipe do empreendimento e ao proprietário por meio de uma interface interoperável e intuitiva)
- Durável (utilizável ao longo de todas as fases da vida de uma edificação)

Como visto anteriormente, pode-se dizer que o BIM tem origem nas pesquisas sobre projetos com assistência e auxílio de computadores, há décadas atrás, entretanto, o *Building Information Modeling* não possui apenas uma definição que seja aceita na sua generalidade. Além disso, atualmente não existem softwares BIM que compreendam todos os critérios da tecnologia BIM, apenas com o passar do tempo os programas e as suas capacidades irão crescer, assim como os seus campos de aplicação e as suas habilidades funcionais.

É possível destacar benefícios relacionados a utilização e adoção do BIM na indústria da construção, [6]:

- Pesquisa e obtenção eficientes de documentos específicos;
- Propagação de alterações rápida e direta;
- Automatização de fluxos de trabalho;
- Compilação da informação relevante;

- Integração de processos de produção e de gestão documental que resultam numa economia de esforços ao nível administrativo;
- Simplificação da recolha de informação produzida em projectos anteriores ou proveniente de fontes de informação externas;
- Criação de condições favoráveis para a realização simultânea do trabalho de diversos projetistas, resultando em prazos mais curtos para o desenvolvimento de projetos;
- Eliminação da introdução repetida de dados, evitando-se os erros associados;
- Redução de esforços redundantes relacionados com a repetição de tarefas de projecto e com as verificações das especificações elaboradas;
- Aumento de produtividade devido a uma partilha de informação mais rápida e isenta de ruído;
- Simplificação da introdução de modificações em projetos;
- Melhoria da cooperação interdisciplinar.

A primeira área da construção a sentir o efeito das enumeradas vantagens é a área de conceção de projetos (projetistas), entretanto, pode-se dizer que os efeitos de tais vantagens se prolongam por todo o ciclo de vida da construção.

2.3. DIFERENÇA DO BIM PARA MODELAGEM EM CAD

Os sistemas CAD (*Computer Aided Design)* surgiram com o objetivo de substituir o lápis e o papel, passando assim os desenhos técnicos para formato digital, na forma de 2D e posteriormente em 3D. Os sistemas CAD mais antigos produzem desenhos plotados e geram arquivos que representam formas e objetos por meio de vetores e linhas por diferentes camadas (*layers*). Consoante a evolução desses sistemas e com o aumento de informações adicionadas, os sistemas CAD foram ficando mais inteligentes, fazendo com que mais usuários desejassem partilhar dados associados com os seus projetos, transferindo o foco dos desenhos e dos gráficos 3D para os próprios dados relativos ao projeto.

De forma a explicar a diferença entre o BIM e a modelagem 3D, pode-se dizer que o sistema BIM surge com uma abordagem onde os modelos são criados em 3D a partir de objetos paramétricos com propriedades espaciais, associadas á sua representação. Detalhes em diferentes vistas, como plantas e cortes em 2D, são retirados diretamente do modelo e qualquer alteração em um objeto, feita em uma das vistas, é transmitida automaticamente para outras. Isso elimina o processo de retrabalho, que vemos em projetos feitos em CAD, e torna o processo de detalhamento e correção de projetos mais fácil e ágil, [7].

A modelação 3D como os sistemas CAD apresentam apenas um modelo simples, enquanto o BIM leva em consideração todo o gerenciamento do projeto.

2.4. NÍVEL DE MATURIDADE

Os níveis de maturidade do BIM definem a colaboração (quem está envolvido), que é uma das principais características e propostas de valor do BIM. Determina quem faz parte do modelo digital, o seu nível de participação e quando é necessário o seu envolvimento. Pode variar desde nenhum nível de maturidade até um envolvimento completo do ciclo de vida, apoiado por sistemas de dados integrados e interoperáveis, [8].

Os níveis de maturidade variam consoante a necessidade do cliente.

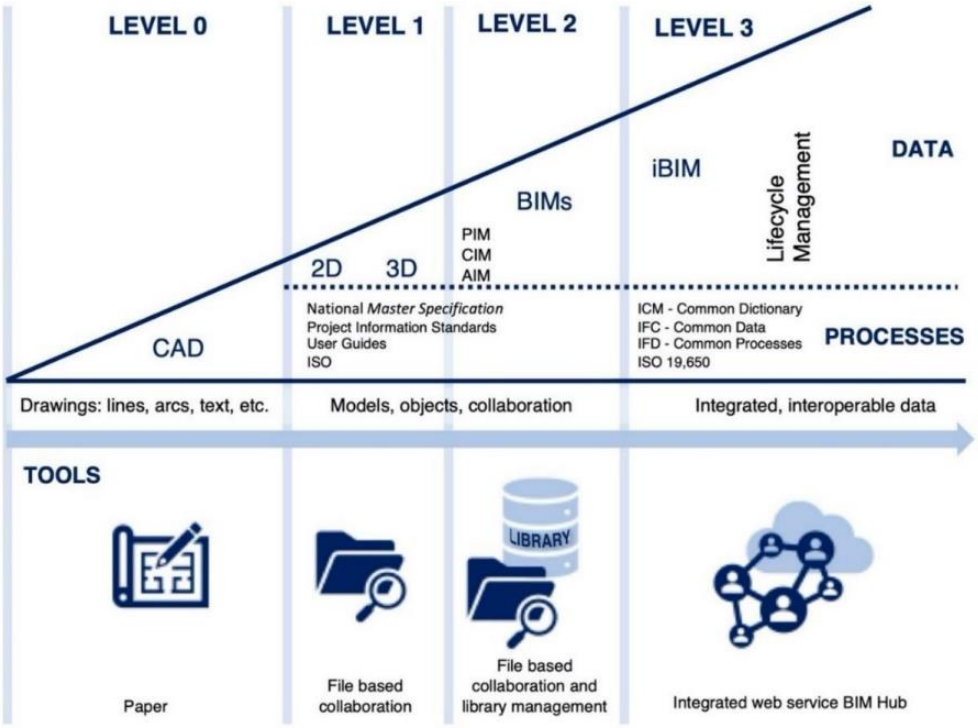


Fig.2.1 – Níveis de Maturidade do BIM

- Nível 0 – Baixa colaboração
  Cada parte cria e gere os seus próprios dados com pouca oportunidade de partilhar digitalmente. Não apresenta nenhuma vantagem relativamente aos métodos tradicionais, sendo tão simples como o 2D CAD;

- Nível 1 – Colaboração parcial
  O nível 1 costuma envolver uma mistura de 3D com CAD 2D e um plano básico de Gestão de Informação. É desenvolvido um modelo 3D no início do projeto para efeitos de visualização, entretanto com o decorrer há uma mudança para fluxos de trabalho 2D (fase conceptual) para o desenvolvimento dos desenhos e esquemas. A informação do projeto é armazenada em desenhos 2D e em documentos de acompanhamento.

Não apresenta nenhuma vantagem relativamente aos métodos tradicionais visto que o modelo 3D BIM só é utilizado para criar o modelo 2D dos desenhos;

- Nível 2 – Colaboração total
  É definido pela utilização do modelo 3D para comunicar, coordenar e tomar decisões.
  Nesse ponto, o BIM é "um processo de troca de informação específico para tal projeto e é coordenado entre vários sistemas e participantes do projeto".
  Pode ser executado usando:
  - Um ficheiro comum ou software BIM compatível que permite a integração dos modelos 3D;
  - Um modelo unificado em 3D que é atualizado e partilhado com todos os membros da equipe em determinados momentos;

- Nível 3 – Integração Completa
  Inclui a integração total de todos os participantes do projeto no processo BIM por meio da conceção e construção. A entrega dos documentos e dos dados do projeto é feita digitalmente, servindo mais tarde como base para a construção. O modelo acaba por se tornar uma ferramenta digital para a instalação e para a gestão da vida do edifício. Há um nível muito elevado de exigência na colaboração dos membros da equipe, sendo comum os termos de compromisso serem estipulados em termos contratuais.

2.5. DIMENSÕES DO BIM

O *Building Information Modeling* vai muito além do simples desenvolvimento 3D de um projeto, é possível enumerar e introduzir as diversas dimensões do BIM.

As dimensões abaixo aplicam-se a edifícios de madeira, [8]:

- 3D: MODELING (DIMENSIONAMENTO)
  A dimensão 3D do BIM é a representação digital do projeto que se pretende realizar ou a condição atual já existente. A combinação dos elementos do modelo digital e as suas informações associadas (dados) são desenvolvidas durante o processo de conceção.
  O modelo 3D pode ser utilizado para visualização, avaliação antecipada do uso e desempenho do edifício, análise preliminar de custos e a geração de documentos (desenhos). Pode-se se dizer que a colaboração interdisciplinar, deteção de conflitos e revisão de design são aspetos associados ao BIM 3D;

- 4D: TIME (PROGRAMAÇÃO)
  Ligação de elementos do modelo, montagens e dados à uma linha temporal para representar a sequenciação da construção e a sua programação. A dimensão 4D é

tipicamente utilizada para mostrar a programação temporal pretendida para o cronograma de uma obra. Toma-se como exemplo um edifício de madeira pré-fabricada onde um modelo BIM 4D pode utilizar os dados do projeto para desenvolver o programa de transporte e a sequência de instalação para os painéis de madeira;

- 5D: COST (CUSTO/QUANTIFICAÇÃO)
  Ligando os elementos do projeto e a construção, juntamente com o calendário (programação) para estabelecer os custos relacionados, o modelo 5D pode ser utilizado para quantificar materiais e o custo de construção.
  Pode ajudar a equipe de projeto a visualizar o progresso de atividades de construção e os custos associados ao longo do tempo;
- 6D: PERFORMANCE (DESEMPENHO)

  A dimensão 6D é ligada a parte de análise. Trata-se de ligar o modelo BIM às ferramentas que a equipe de projeto precisa de medir, além de validar a conceção proposta para o desempenho do edifício, como energia, emissão de gases de efeito estufa, ventilação, conforto térmico, etc.
  Os dados do modelo 6D podem servir de base para uma comparação com o desempenho real;

- 7D: MANAGEMENT E MAINTENANCE (GESTÃO E MANUTENÇÃO)

  O modelo 7D do BIM é mais comumente referido como o Modelo de Informação do Ativo (AIM) e é utilizado para entrega, manutenção e gestão do edifício. Ligando atributos e dados do modelo para apoiar a gestão das instalações e funcionamento, o AIM simplifica a gestão de ativos ao longo da vida do edifício e fornece uma base de dados para o acompanhamento, manutenção e gestão contínua do mesmo;

- 8D: DECONSTRUCTION (DESCONSTRUÇÃO)

  O modelo 8D envolve o "pós-vida", o desmantelamento, a demolição, a reabilitação ou a reciclagem de um edifício ou estrutura. Todos os dados capturados dentro do modelo BIM podem ser utilizados para renovar, reconfigurar e, por fim, a desativar um edifício.
  A dimensão 8D pode informar a equipe de desconstrução sobre a melhor forma de desconstruir a estrutura, e os tipos e quantidades de materiais envolvidos.

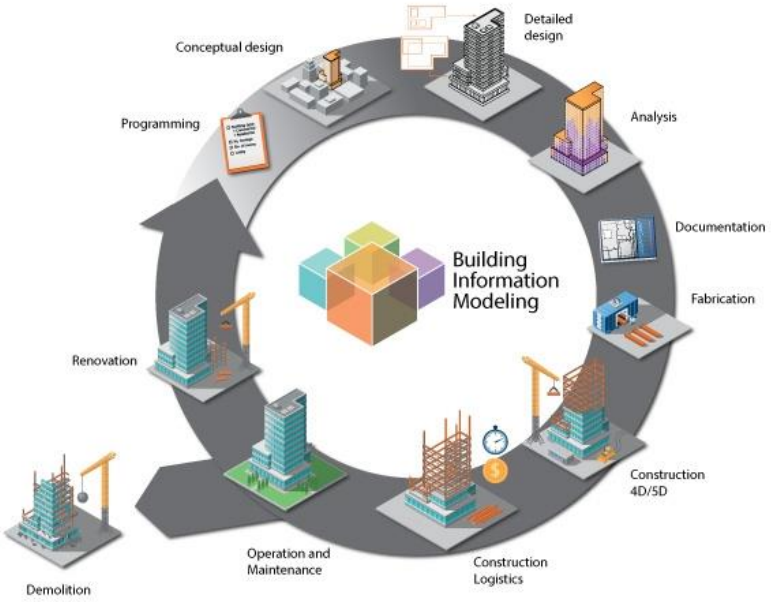


Fig.2.2 – Dimensões do BIM

2.6. NÍVEIS DE DESENVOLVIMENTO (*LEVELS OF DEVELOPMENT – LOD*)

No mesmo seguimento das dimensões do BIM, é possível dizer que o *Building Information Modeling* apresenta também uma divisão relacionada com os seus Níveis de Desenvolvimento *(Levels of Development - LOD).*

Os níveis de desenvolvimento do BIM define em um projeto a profundidade técnica necessária e a amplitude do modelo digital. A informação pode variar desde uma representação rudimentar 3D (LOD100) até uma representação rica e completa (LOD500) igualmente em representação digital. É estabelecido quanto detalhe é esperado para os elementos técnicos dentro o modelo, para além de que os níveis de desenvolvimento são comunicados aos consultores, fornecedores e empreiteiros, [8].

É preciso que a equipe de projeto defina os níveis de desenvolvimento para âmbitos específicos do pré-projeto de trabalho, para que assim seja assegurada que todos os membros da equipa de projeto são contratados com funções e responsabilidades claras e uma compreensão total dos requisitos do BIM para o projeto, [8].

- LOD 100 PRE-DESIGN
  O LOD 100 apresenta um baixo nível de desenvolvimento com um mínimo ou nenhum dado gráfico. Está relacionado com a fase de conceito tradicional, onde formas esquemáticas e primitivas são utilizadas para estabelecer o conceito básico. Os resultados são geralmente utilizados para efeitos visuais e comunicam a visão do designer;
- LOD 200 SCHEMATIC DESIGN
  Apresenta um nível de desenvolvimento que consiste em uma representação gráfica genérica onde há tamanhos e formas aproximadas. O LOD 200 tem um mínimo de dados

não gráficos que podem para além do tamanho e formas, quantidades e localização de um elemento do edifício. É considerado um baixo nível de desenvolvimento e utilizável apenas na conceção inicial para efeitos de aquisição ou comercialização de licenças. No entanto, existe um número suficiente de informação para que a equipa de projeto inicie uma coordenação preliminar de alto nível;

- LOD 300 DESIGN DEVELOPMENT
  Os elementos do modelo são representações gráficas de objetos ou montagens.
  O LOD 300 inclui dados não gráficos relacionados com o elemento. Os objetos são colocados com precisão para facilitar a coordenação e desenvolvimento do design. Para além disso, o LOD 300 pode servir de base para a análise do carbono e da energia da construção;
  É tipicamente utilizado para documentação de construção sobre edifícios simples onde a geometria e os dados complexos são relativamente baixos, como por exemplo, edifícios unifamiliares, edifícios com baixa altura residencial, edifício comercial ligeiro e industrial ligeiro;
- LOD 350 CONSTRUCTION DOCUMENTATION
  Os elementos do modelo são representações geometricamente precisas de objetos ou montagens que incluem também dados não gráficos (peso, custo, fabricante, informação de instalação). O LOD 350 se encontra tipicamente em projetos complicados em que existe um elevado grau de detalhe e/ou geometria complexa onde uma colaboração estreita é crucial;
- LOD 400 CONSTRUCTION PHASE
  Representações geometricamente precisas de objetos ou montagens, onde o fabricante retira informações de produção diretamente do modelo, eliminando a necessidade de preparar separadamente desenhos de lojas. Além de incluir dados não gráficos, o LOD 400 permite a coordenação entre equipas de conceção e construção, incluindo fabricantes e fornecedores;
- LOD 500 AS-BUILT
  O modelo LOD 500 representa os elementos já no seu estado final. Inclui representações gráficas de objetos e montagens juntamente com todos os dados relacionados com esses elementos.
  Um modelo LOD 500 assinala qualquer alteração entre a forma como os objetos foram concebidos e como foram instalados no local e constitui a base para entrega do edifício e o manual de operações de construção, por exemplo, o tamanho e a localização das condutas AVAC. Não precisa ser altamente detalhado, mas a sua precisão é crucial.



Fig.2.3 – Níveis de Desenvolvimento do BIM do LOD 100 ao LOD 500 (Imagem da BIOMETICA)

2.7. CURVA DE MACLEAMY

Como visto anteriormente, o BIM é um sistema muito promissor no meio da indústria relacionada à arquitetura, engenharia e construção (AEC). Foi abordado também o seu potencial relevante nas equipes de produção, criando uma maior colaboração entre arquitetos, empreiteiros e projetistas em diferentes fases iniciais do projeto. Para além disso, pode-se dizer que foi abordado que o *Building Information Modeling* auxilia na resolução de problemas antes que os mesmos possam chegar ao estaleiro de obra, conduzindo assim a uma redução de custos e prazos quando comparado a projetos tradicionais. A figura 2.4 mostra o gráfico de esforço e efeito pelo tempo apresentado por MacLeamy (*Construction Users Roundtable*, CURT, 2004) que exibe o fluxo de trabalho em projetos BIM. O gráfico demonstra que através de projetos integrados, com o foco principal nas fases iniciais são mais efetivos e apresentam menor custo de mudança em fases posteriores caso seja necessário, [9]:

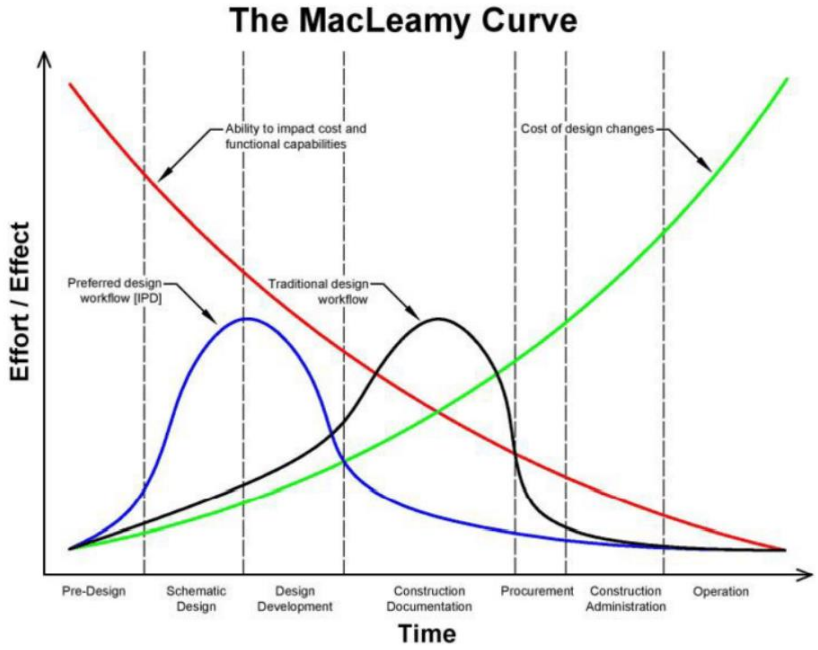


Fig.2.4 – Curva de MacLeamy

Significado das curvas do gráfico:

- Vermelha – Possibilidade de impactar os custos e as capacidades funcionais;
- Verde – Custo de alterações no projeto;
- Preta – Processo tradicional;
- Azul – Processo alternativo.

Por ordem, no eixo das abscissas, apresentam-se as seguintes fases do ciclo de vida de um projeto:

- ANTEPROJETO;
- PROJETO BÁSICO;
- PROJETO EXECUTIVO;
- PROJETO PARA PRODUÇÃO;
- APROVISIONAMENTO;
- ADMINISTRAÇÃO DA CONSTRUÇÃO;
- OPERAÇÃO.

2.8. APLICAÇÃO DO BIM NO PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Quando se fala de métodos modernos e de uma condução digital da construção, é possível dizer que a madeira é um material ideal. Além de apresentar um baixo teor de carbono, é um material fácil de moer e de pré-fabricar fora do local de construção. É leve, mas robusta o suficiente para manuseamento e transporte e fácil de anexar no local, [8].

O BIM apresenta um método dinâmico de criação de modelos ricos em informação que apoiam a gestão do edifício ao longo do seu ciclo de vida, desde o planeamento e a conceção até à operação e desativação. Contribui para melhorar a produtividade e a colaboração da equipe, reduzir a incerteza e os erros, minimizar os custos e os prazos, melhorar a segurança, evitar o desperdício no local de construção e contribui para uma melhor qualidade e gestão da informação do projeto.

Pode-se dizer que o BIM é uma ferramenta importante para a construção e entrega de edifícios de madeira, mais especificamente quando são utilizados métodos de pré-fabricação. A figura 2.5 apresenta o ciclo de vida do BIM.

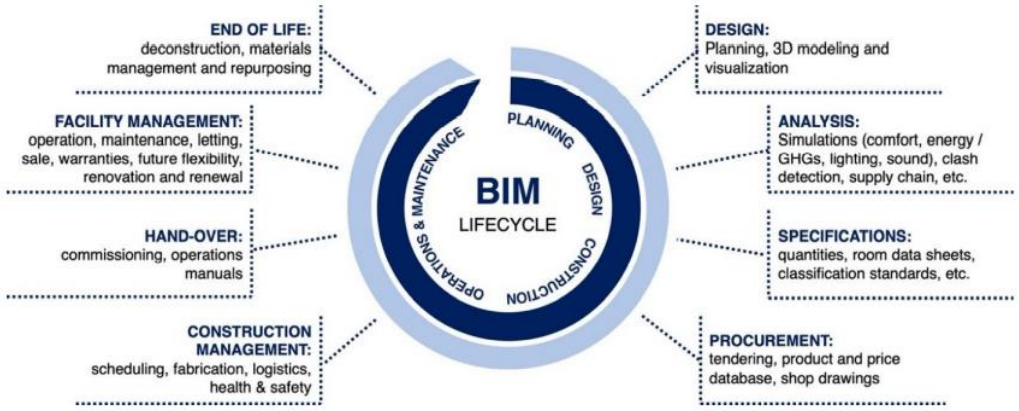


Fig.2.5 – Ciclo de Vida do BIM

2.8.1. A Utilização do BIM para Construções em Madeira Pré-Fabricadas

A madeira está presente na construção desde os povos mais antigos, sendo um material muito popular e amplamente utilizado que exerce um papel muito importante na abordagem das alterações climáticas devido a sua capacidade de armazenar carbono. É forte, leve e maquinável quando comparada aos métodos modernos de construção. No que toca a utilização do BIM a nível internacional para a entrega de edifícios de madeira, pode-se dizer que a adoção do mesmo ainda está numa fase inicial e, quando é utilizado, está ligado principalmente a fase de conceção do projeto. Entretanto, aos poucos está surgindo um reconhecimento de que o BIM permite a arquitetos, engenheiros e construtores desbloquear as vantagens da construção fora do local, potenciando os benefícios das tecnologias de madeira emergentes para inovar a conceção e a construção, e entregar os projetos dentro do prazo e do calendário previsto, [8].

A construção fora do estaleiro de obra envolve a pré-fabricação ou a pré-montagem de elementos e peças sob medida para acelerar os prazos de construção sem comprometer a qualidade ou o custo da obra. Os elementos para construção fora do local incluem unidades pré-fabricadas modernas de estrutura leve, madeira maciça e sistemas híbridos que ao serem produzidos em fábrica com um grande nível de precisão permitem uma instalação rápida e precisa no local.

A madeira, nos últimos anos, tem voltado a aparecer no cenário da construção civil e dessa vez com um elevado potencial para fazer frente a construção tradicional, centrada no local, que muitas vezes apresenta uma alta incerteza, um grande risco e direcionada a níveis de fraca produtividade, resultando em custos e horários pouco fiáveis.

Exemplos de construções de madeira pré-fabricadas:

PAINÉIS DE CROSS LAMINATED TIMBER PRÉ FABRICADOS

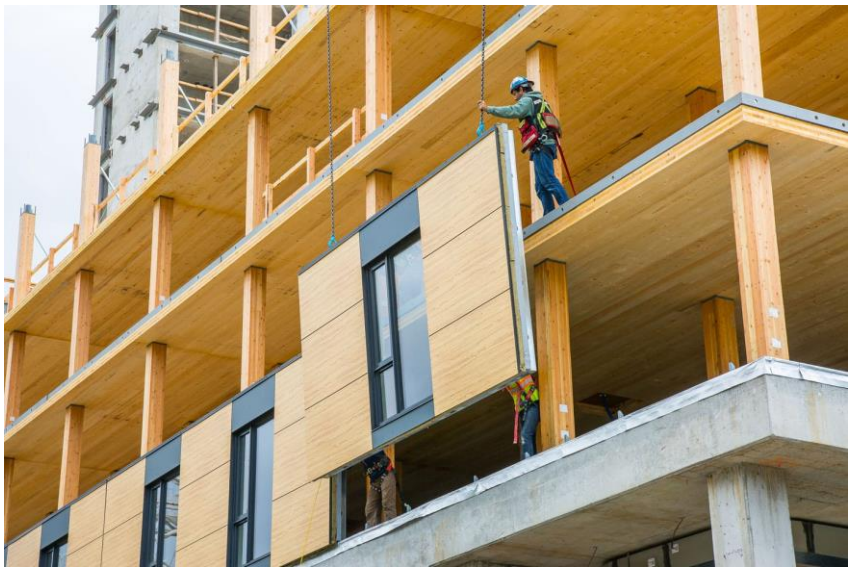


Fig.2.6 – Painéis de CLT da Brock Commons Tallwood House, [10]

UNIDADES MODULARES



Fig.2.7 – Unidades modulares pré-fabricadas

PRE-ASSEMBLY LIGHT WOOD FRAME PANELS AND ELEMENTS

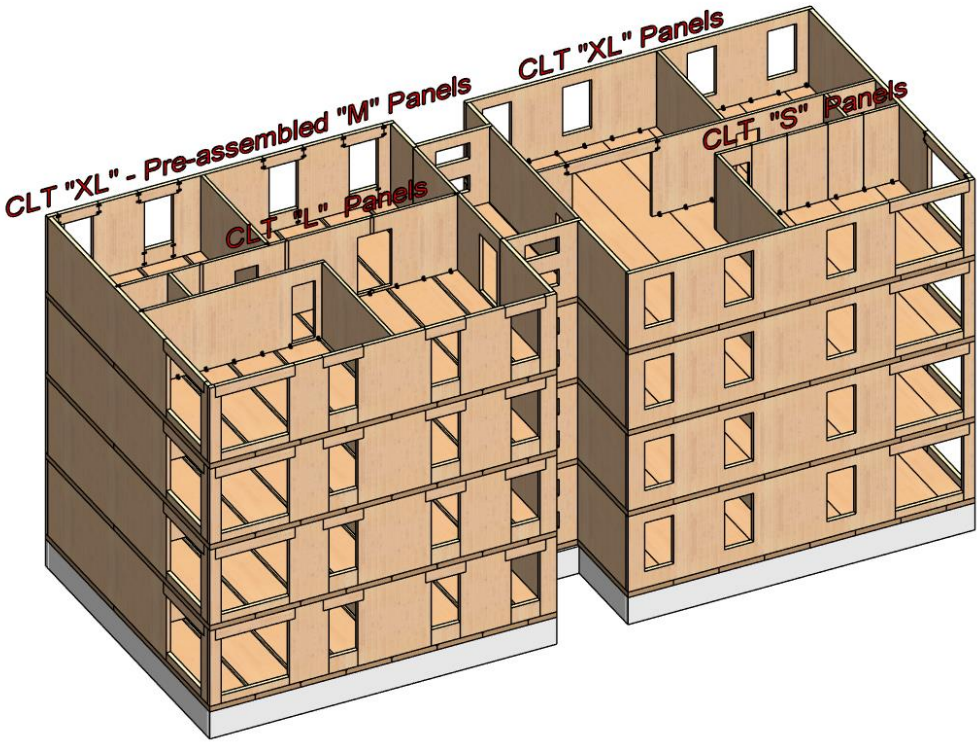


Fig.2.8 – Esqueleto da pré-montagem de painéis e elementos de madeira pré-fabricados em CLT

Quando planeia-se construir um projeto com a utilização de madeira, é preciso ter em consideração algumas especificações. Na fase de conceção, o BIM pode ser utilizado para

desenvolver e verificar a estrutura primária de madeira e o desempenho de carbono do projeto. Já na fase de construção, a equipe no terreno pode utilizar o modelo digital do projeto para planear e executar o fabrico das peças e elementos de madeira e para se preparar para a montagem quando os elementos chegarem de fábrica, [8].

2.9. APLICAÇÃO PRÁTICA

2.9.1. INTRODUÇÃO

- Através da combinação entre o poder da colaboração (Nível de Maturidade) e da gestão da informação (Níveis de Desenvolvimento e Dimensões) o BIM produz melhores resultados. O BIM obtém tais resultados ao unificar todos os intervenientes no projeto em um modelo digital do edifício, sendo possível desenhar, simular e ensaiar as operações antes mesmo da construção para poder validar os resultados do projeto;
- É preciso estabelecer um Ambiente de Trabalho Comum *(Common Data Environment – CDE)* para que os participantes do projeto possam colaborar de forma eficaz e segura, dado que o software utilizado pelos consultores, empreiteiros, comerciantes e fornecedores pode variar;
- Virtual Design and Construction (VDC) é um método de gerenciamento de modelos multidisciplinares integrados em projetos de design e construção. O VDC permite a criação de um projeto de madeira antes mesmo de ser realizado na realidade. É uma grande expansão do BIM e muito valiosa quando são utilizados métodos de construção fora do local (estaleiro), [8];
- Os fluxos de trabalho do BIM são críticos, variam de acordo com os requisitos do proprietário e é essencial para as equipes que seja definido os fluxos de trabalho logo no início do projeto, para que assim sejam minimizados os obstáculos técnicos.

O maior impacto do BIM está presente na informação e nos dados relativos ao projeto, na tomada de decisão e no envolvimento/colaboração da equipe. De seguida será apresentado e examinado como a informação e os dados podem ser vistos na prática, como o BIM se relaciona com as tomadas de decisão e como a informação e as decisões, com base no BIM, influenciam as entregas dos projetos digitais.

- Informação e Dados

A reunião, a organização e a comunicação da informação de alta qualidade feita pelo BIM fica presente em dentro de um Ambiente de Trabalho Comum. É o local onde se encontram todas as informações relativas ao projeto de construção e que fornece a todos as integrantes representações digitais do edifício durante todo o seu ciclo de vida. É possível dizer que os benefícios são uma melhoria na acessibilidade da informação, qualidade da informação e uma colaboração digital, o que consequentemente conduz a uma melhor tomada de decisões.

- Acessibilidade da Informação:

Como dito anteriormente, há um ambiente comum onde toda a equipe do projeto consegue aceder a informação em tempo real. É preciso estabelecer um protocolo de partilha adequado presente no Plano de Execução do BIM, sendo por isso que o Nível de Maturidade, o LOD e as Dimensões são estabelecidas antes do projeto.

- Qualidade da Informação

Não serve de nada aceder apenas a informação, é preciso que a qualidade da mesma seja assegurada. Por isso, o BIM unifica em todo o projeto os conhecimentos especializados dos participantes no modelo. É necessária a criação de um Plano de Comunicação do BIM para que a qualidade e a continuidade da informação seja assegurada, minimizando o tempo que os integrantes da equipa do projeto têm para se familiarizar com o progresso geral do projeto.

- Colaboração Digital

Como o próprio nome diz, a colaboração digital permite a participação coletiva de todos os envolvidos no processo de fornecimento utilizando diversos softwares e aplicações por meio do Ambiente de Trabalho Comum.

- Tomada de Decisão

É por meio da profundidade e da amplitude da informação fornecida pelo BIM que a tomada de decisões é facilitada, sendo definido assim os Níveis de Maturidade, Níveis de Desenvolvimento e as Dimensões do BIM. (SCIUS, 2022)
A criação do Plano do BIM e a plataforma de comunicação ajudam a manter uma colaboração construtiva e servem de apoio no processo de tomada de decisão.

- Entrega dos Projetos Digitais

O desenvolvimento de um VDC *(Virtual Design and Construction)* é ideal para o projeto. O VDC é um método de criação de um projeto de construção virtual antes de iniciá-lo no mundo real, o que permite ao empreiteiro verificar e aceder todas as informações a respeito do edifício antes de construí-lo. A integração do BIM e do VDC permite um alavancamento do modelo BIM para a coordenação, sequenciação e fabricação e construção.

- Coordenação

O modelo digital ajuda a coordenar o trabalho durante a conceção e a construção. Auxilia a reduzir a papelada e os erros associados a administração tradicional (SCIUS, 2022).

- Sequenciação

As dimensões 3D, 4D e 5D são utilizadas para a construção do modelo virtual do projeto e são importantes no que toca a coordenação dos processos fora do estaleiro de obra como a pré-fabricação, o transporte e a instalação dos elementos. É possível citar como exemplo elementos de madeira pré-fabricados que precisam de ser identificados (etiquetados) para que quando cheguem a obra a sejam alocados no local correto.

- Fabricação e Construção

O DfMA *(Designing for Manufacturing and Assembly)*, que é a combinação de duas metodologias, o design para fabricação e o design para construção (montagem), alavanca o BIM, a colaboração, coordenação e a informação. Através desse método, muito erros de comunicação e coordenação são eliminados entre o design e o fabricante e é possível reduzir e eliminar desenhos de lojas e fabricar componentes/elementos com precisão.

2.9.2. BIM NA PRÁTICA EM EDIFÍCIOS DE MADEIRA

É possível afirmar que a madeira trabalhada e o BIM interagem acertadamente e quando utilizados em simultâneo, costumam atingir projetos com um alto nível de eficiência e sustentabilidade. Como foi visto até aqui, o BIM permite uma visualização 3D digital de todo o projeto e as suas simulações, além de promover a integração e a colaboração da equipa envolvida e as suas trocas de informações desde a primeira fase do projeto até o final da vida útil do edifício. Por isso, pode-se dizer que o BIM auxilia toda a gestão do edifício, [11].

O Boston Consulting Group apresentou um relatório a respeito das ferramentas digitais na engenharia e construção e, uma implementação mais ampla do BIM poderia conduzir a uma economia de 15 a 25 por cento ao mercado das infraestruturas até 2025. Pode-se dizer que para projetos de madeira isso é um fator muito relevante pois há um envolvimento de fabricantes, consultores, projetistas e empreiteiros e até os proprietários da obra, [12].

A madeira trabalhada ainda possui um grande preconceito na área da construção civil por ser um material que remete ao passado, entretanto cada vez mais tem se mostrado capaz de mudar a mentalidade das construções tradicionais, que utilizam práticas artesanais e ultrapassadas no estaleiro de obra e que muitas vezes, como dito anteriormente, são incertas e perigosas e com uma produtividade reduzida.

A figura 2.9 abaixo apresenta um fluxo comparado de um projeto de estruturas desenvolvido em BIM e utilizando estruturas de madeira e é apresentado como uma síntese dos conteúdos desenvolvidos neste capítulo.

Quando o BIM é utilizado em conjunto com a madeira industrializada (e*nginnered timber*) é possível notar diversas melhorias no processo de construção. Na conceção do design do projeto, é possível utilizar o BIM para desenvolver uma estrutura primária de madeira e verificar o seu desempenho de carbono. De seguida, pode ser criado um modelo virtual do projeto e da obra onde podem ser feitos ensaios e verificar situações reais de construção e utilização, como por exemplo o ensaio da montagem das peças pré-fabricadas de madeira, o plano de corte das chapas, as furações e a identificação de cada um dos elementos para posterior montagem no estaleiro. Podem, também, ser utilizados outros softwares para verificar o consumo energético, cumprimento de prazos e entregas das peças pré-fabricadas, para que as mesmas cheguem no momento certo da montagem.

O VDC abordado anteriormente é uma excelente possibilidade para edifícios de madeira, pelo fato de que ao ser utilizado, permite aos responsáveis pela execução uma visualização virtual da construção antes de iniciá-la no mundo real.

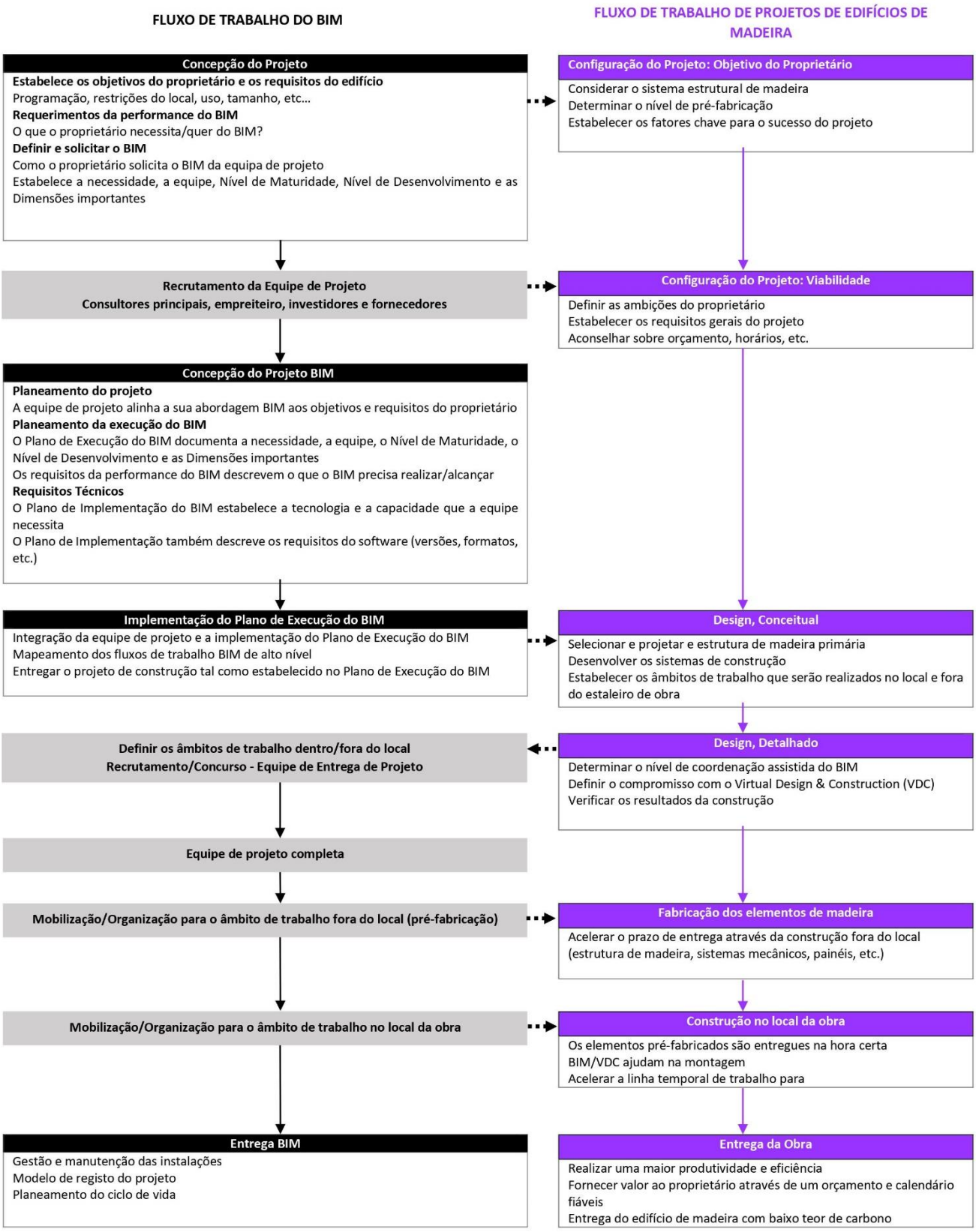


Figura 2.9 – Fluxo de trabalho de um projeto BIM com adaptações para um projeto em estruturas de madeira (adaptado de SCIUS, 2022), [8]

Concluindo, é possível afirmar que em construções de madeira as vantagens da integração do BIM são notáveis, ao ser alinhada a eficiência da pré-fabricação e os atrativos de um material natural e sustentável.

2.4. EXEMPLO – O BROCK COMMONS TALLWOOD HOUSE EM VANCOUVER, CANADA

Para que seja explicado de uma forma mais compreensível é apresentado o exemplo do processo construtivo do edifício *Brock Commons Tallwood House*, que está situado em Vancouver, no Canadá. O edifício foi construído pela Universidade de *British Columbia* com o objetivo de servir como um complexo residencial para estudantes da própria Universidade, contando com 404 camas, 15.120m^2 de área de construção, 53 metros de altura e 18 andares, sendo na época da conclusão da obra o edifício mais alto de madeira no mundo, [10].

O *Brock Commons Tallwood House* foi um dos projetos apoiados e advindos da iniciativa de demonstração de prédios altos em madeira (*The Tall Wood Building Demonstration Initiative*) em 2013, com o propósito de contribuir com o avanço do design e a produção de produtos de madeira no Canadá, demonstrando que a madeira é uma opção estrutural viável para edifícios de altura média/alta, [10].

O complexo residencial foi desenvolvido com uma estrutura híbrida de betão armado e madeira, sendo a madeira o principal material estrutural. A fundação, rés-do-chão, a laje do segundo piso e as caixas centrais de escadas e elevadores foram construídas com betão armado, enquanto a superestrutura é composta de pré-fabricados. A laje foi construída através de painéis de Madeira Laminada Cruzada (CLT) apoiados em colunas de Madeira Laminada Colada (GLT) e *Parallel Strand Lumber* (PSL) com conexões de aço, visto que foram testados 3 tipos de conexão entre pilar e laje, duas em madeira e uma em aço, sendo optada a ligação em aço devido a sua praticidade na montagem. A envolvente do edifício é composta por painéis pré-fabricados com aço leve e revestimento por fibra de madeira laminada e o telhado foi construído a partir de uma montagem tradicional em SBS (*styrene – butadiene – styrene*) sobre terraço de metal, [10].

Os núcleos centrais em betão armado servem para aumentar a rigidez da edificação para suportar cargas de vento e eventos sísmicos. As lajes em CLT apresentam 2.85 metros de largura, 4 diferentes tipos de comprimentos e um máximo de 12 metros de vão resultando em 29 peças por andar em 16 pavimentos (2º ao 16º). Não foi necessária a utilização de vigas nesses pavimentos devido a capacidade dos painéis de CLT de suportar e distribuir a carga nas duas direções. Nos locais com maior solicitação foi utilizado o *Parallel Strand Lumber* (PSL) por apresentar uma maior resistência estrutural. Nas conexões entre pilar-pilar e pilar-laje foram utilizados perfis de aço para proteger a estrutura de madeira contra a umidade e na laje de CLT foi aplicado um contrapiso de concreto para aumentar a rigidez e o peso da estrutura, o isolamento acústico e servir como uma camada protetora. Para além disso, apesar dos materiais apresentarem uma boa resistência contra o fogo, as regiões de madeira que estavam expostas foram cobertas com uma camada tripla de gesso cartonado específico contra o fogo, [10].

Os sistemas estruturais foram testados em escala real para que fosse possível analisar a viabilidade e a agilidade dos elementos pré-fabricados. O edifício ganhou o certificado LEED *Gold (Leadership in Energy and Environmental Design),* que promove uma responsabilidade ambiental da construção. Foram utilizados 2.233m^3de madeira, estocadas 1.753 toneladas de CO2 e evitada a emissão de 679 toneladas de CO2 para a atmosfera, [10].

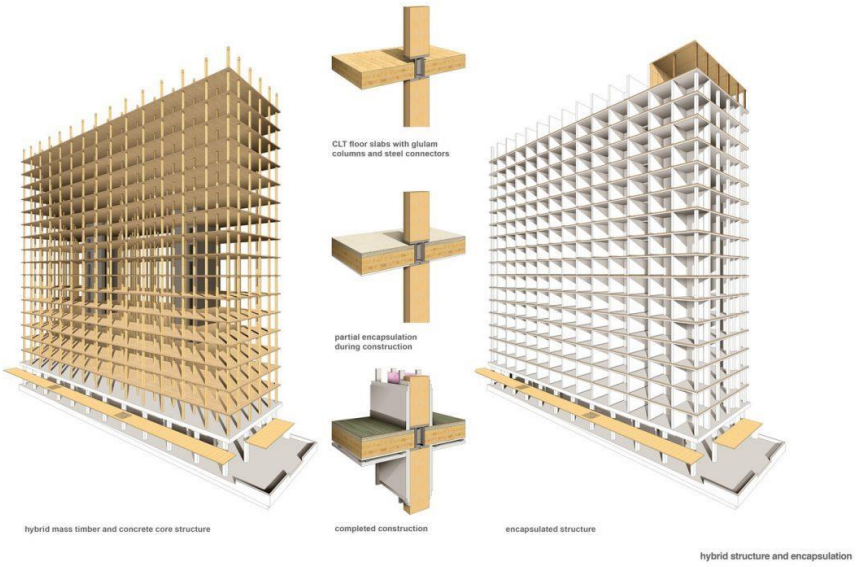


Figura 2.10 – Pormenorização construtiva [10]

É possível perceber com essa breve descrição que esse caso pioneiro demonstra inovações na aplicação dos produtos de madeira industrializada e nas práticas de conceção e construção. Pode-se afirmar que com a dimensão dessa obra a utilização do BIM, do início ao fim, foi essencial para a execução da mesma. A equipa de projeto utilizou um processo de desenho integrado, melhorado pela utilização do VDC (*Virtual Design and Construction*), [10].

O planeamento extensivo da construção e sequenciação, o controle preciso na pré-fabricação da estrutura do edifício e a coordenação na hora da montagem da instalação no local foram cruciais para o sucesso da edificação, [10].

A equipa de projeto utilizou uma abordagem de design integradora que levou a um planeamento extensivo da pré-construção. Uma característica única da *Brock Commons* foi a utilização intensiva do VDC, que como visto anteriormente, é uma modelação suportada pelo *Building Information Modeling* (BIM) , [10].

Logo na fase de concepção e pré-construção foi criado o modelo do VDC da obra, onde era possível ter uma noção 3D completa do edifício, desde a estrutura até os acabamentos interiores

e os sistemas mecânicos e hidráulicos, sendo o modelo compatível a diversos formatos. Na fase de conceção o VDC tinha como principal função auxiliar no desenvolvimento do projeto e na tomada de decisões. Houve uma integração através da criação de um ambiente de trabalho comum entre os projetistas e os designers de forma a assegurar que o modelo fosse sempre preciso e detalhado na representação do projeto. Por isso, pode-se dizer que o VDC serviu como uma ferramenta de comunicação, [10].

Na fase de pré-construção, o VDC contribuiu para a criação de uma maquete que ajudou a validar o modelo. Para além disso, o VDC criou a oportunidade de se estudar a construtibilidade e a viabilidade de instalação, ajudou a testar os procedimentos de pré-fabricação, a selecionar os equipamentos de instalação e a identificar opções de eficiência. O *Virtual Design and Construction (*VDC*)* também serviu como base para os testes de esforço dos painéis de CLT, [10].

A figura 2.11 apresenta aspetos da aplicação da VDC nesta obra. Como o prazo para a execução da obra era demasiado curto e a dimensão do estaleiro de obra pequena, houve uma maior atenção na coordenação da produção, armazenamento, entrega e instalação de todos os elementos do edifício. Por esse motivo o VDC serviu como ferramenta chave no processo de planeamento, sendo utilizado para desenvolver simulações animadas que ilustravam a sequência da instalação e montagem do edifício. Foi possível ainda, fazer uma estimativa de produtividade, quantidade de materiais e um planeamento financeiro, [10].

Durante a fase de pré-fabricação, os modelos dos componentes específicos foram gerados a partir do VDC e validados pelo engenheiro estrutural, sendo enviados em seguida para o fornecedor. Através do modelo virtual o fornecedor conseguiu desenvolver as peças com a precisão esperada (tolerância de ± 2mm). Os sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos foram incluídos no modelo VDC e os seus níveis de detalhe foram requeridos na pré-fabricação dos painéis de CLT, o que reduziu ainda mais o tempo de construção por não ser preciso realizar furações no local da obra, [10].



Figura 2.11 – Comparação do modelo VDC com a execução, [10]

Para a construção ser executada em um calendário tão curto, o planeamento detalhado através do VDC foi essencial para que os processos de construção fossem padronizados e racionalizados. A fundação, o rés-do-chão e o segundo piso foram concluídos em 3,5 meses, a caixa central de escadas e elevadores foi concluída em 3,5 meses e a superestrutura de madeira, o telhado metálico e os painéis foram finalizados em 3 meses. Pode-se dizer que o VDC ajudou no processo de entrega no prazo correto das peças, diminuindo o tempo de montagem e melhorando a precisão dos componentes, o que levou a um aumento da segurança no local, na diminuição de resíduos e a uma preservação da qualidade dos elementos pré-fabricados, visto que o estaleiro de obra tinha uma dimensão pequena e a madeira se fosse armazenada e não fosse diretamente montada poderia perder a sua qualidade.

É possível concluir então que o VDC-BIM teve um impacto crucial do início ao fim da obra do edifício *Brock Commons Tallwood House* da *British Columbia*.

3

BREVE SÍNTESE DO EUROCÓDIGO 5 – PARTE 1.1

3.1. APRESENTAÇÃO GERAL

A madeira é um material importantíssimo na construção e é possível dizer que se encontra em uso há milhares de anos, desde o início das civilizações. A madeira tem sido usada na construção de abrigos, casas, barcos e outras tantas estruturas, desenvolvidas pelo ser humano no decorrer dos anos devido à sua abundância em diversas regiões e à sua facilidade na extração e manuseio.

Durante o século XX e sobretudo devido à concorrência do betão armado, a madeira perdeu o papel relevante que tinha na construção como antigamente. Entretanto, com o avanço das tecnologias, o desenvolvimento da madeira industrial, as preocupações com o meio ambiente e a sua enorme variedade de soluções construtivas, pode-se dizer que a madeira tem voltado a tomar um espaço central e de grande relevância na área da construção de edifícios.

Como material construtivo, a madeira apresenta alguns fatores importantes a serem destacados como as suas propriedades físicas e mecânicas que, consequentemente, proporcionam a concretização de um produto final com bom desempenho conforto térmico e estético e, para além disso, apresenta características ambientais relevantes, sendo um material sustentável, renovável e de baixo consumo energético para a sua produção, captando CO_2 da atmosfera durante o seu crescimento e com um consumo de combustíveis fósseis, quando utilizada na construção, menor do que o aço e o betão.

A verificação da estabilidade de estruturas em madeira assemelha-se muito à verificação da estabilidade de estruturas metálicas. Entretanto, por ser um material de origem natural, a principal dificuldade a ser vencida no seu dimensionamento é a obtenção dos valores de cálculo para os materiais e a garantia de obtenção de durabilidade adequada ao uso.

É preciso ter atenção a fatores como a humidade, teor de água, variação de temperatura e agentes biológicos (fungos, insetos e outros agentes xilófagos). Para além disso, ainda por ser um material

de origem natural, a madeira não é homogénea, podendo então variar os seus valores de resistência devido a defeitos originais ("imperfeições", tais como nós, desvios na direção do fio, fendas) e sendo também um material anisosotrópico, apresenta direções preferenciais nas quais deve ser trabalhada, [13].

A verificação do cálculo de estruturas de madeira apresenta dois aspectos essenciais a ser dominados para a realização de projetos novos ou já existentes, sendo eles o conhecimento do Eurocódigo 5, conhecimento dos perigos provenientes de uma incorreta implantação da madeira e o conhecimento da madeira como material construtivo, [13].

Os Eurocódigos constituem um conjunto de normas que se destinam à verificação de segurança de estruturas. É conveniente dizer que houve uma evolução positiva na regulamentação e no desenvolvimento dos Eurocódigos na Europa. Entretanto, os projetistas em Portugal ainda encontram algumas dificuldades no dimensionamento de estruturas em madeira, devido ao fato de não existir nenhum código de origem nacional e o EC5 conter apenas a parte 1.1 traduzida para o português. O documento traduzido elimina, ou pelo menos reduz substancialmente, dúvidas de vocabulário e interpretação de projetistas que não apresentam experiência em madeiras.

O Eurocódigo 5 apresenta um processo de dimensionamento baseado no conceito dos estados limites com coeficientes parciais de segurança e dá ênfase à resistência mecânica, comportamento em serviço, durabilidade e resistência ao fogo. Inclui 3 partes:

EN 1995 – 1-1 General – Common rules and rules for buildings;
EN 1995 – 1-1 General rules – Structural fire design;
EN 1995 – 2 – Bridges.

A parte 1-1 do EC5 foi publicada em 1998 em Portugal, a partir da versão original europeia de 1993, emitida pelo Comité Européen de Normalization, sendo a versão original atual do ano de 2004.

O EC5 – Parte 1-1 divide-se em:

1. Generalidades;
2. Bases para o projeto;
3. Propriedades dos Materiais;
4. Durabilidade;
5. Bases para análise estrutural;
6. Estados Limite últimos;
7. Estados Limite de utilização;
8. Ligações com ligadores metálicos;
9. Componentes e sistemas estruturais;
10. Disposições construtivas e controle.

No seguimento deste capítulo é realizada uma breve síntese do Eurocódigo 5 – parte 1.1 que estabelece os princípios fundamentais para a verificação da estabilidade de estruturas em madeira,

além de definir as regras específicas de cálculo dos elementos e sistemas construtivos mais correntes em estruturas.

3.2. BASE DE PROJETO

As estruturas de madeira devem ser projetadas e construídas de modo que se mantenham aptas para os fins para que são projetadas, tendo em conta o período de vida e o custo, e para suportar todas as ações e influências suscetíveis que possam ocorrer. Devem ser projetadas de modo que os danos por acidentes não sejam desproporcionados em relação às causas, sendo os danos potenciais limitados ou evitados através da eliminação e redução dos riscos, adoção de uma solução estrutural pouco sensível aos riscos, adoção de uma estrutura que suporte a remoção de um elemento estrutural isolado e devem ser projetadas com um contraventamento global, assegurando um comportamento tridimensional.

Para além disso, ao projetar e construir as estruturas de madeira, é necessária a atenção aos materiais apropriados, ao cálculo de dimensionamento e às disposições e especificações construtivas.

O dimensionamento de estruturas de madeira deve estar de acordo com o EN 1990:2002, [14], deve levar em consideração as ações e combinações de ações estabelecidas pelo projetista, de acordo com a norma EN 1991:2002 (EC1), [15], e considerar o EN 1995 (EC5), [16], para resistências e regras de serviço e utilização.

No seguimento do capítulo, é importante referir alguns aspectos fundamentais no cálculo de estruturas de madeira, como a duração das ações, o teor de água e a definição dos princípios de cálculo de acordo com a metodologia dos Estados Limite. É introduzido, para o caso dos Estados Limite de Utilização, o conceito de fator de deformação (K_{def}) e o conceito de módulo de deslizamento (K_{ser}) que estão ligados diretamente com a questão da duração das ações, fluência e classes de serviço.

Os valores característicos dos materiais que devem ser utilizados em cada caso estão estabelecidos em normas europeias adequadas, em geral identificadas no texto do EC5. Considerando o coeficiente de segurança (γ_M), diferente para os mais importantes materiais usados em estruturas de madeira, ligadores, madeira maciça e derivados de madeira, é determinado os valores de cálculo das propriedades dos materiais que é também reduzido por coeficientes adequados que têm em conta a classe de duração das ações e a classe de risco do local onde a estrutura irá funcionar em serviço .

É necessário ter atenção, ao realizar o dimensionamento da estrutura, a alguns aspectos específicos. Os modelos de cálculo, para os diferentes estados limites, devem considerar:

- As diferentes propriedades do material (exemplo: resistência e rigidez);
- O comportamento do material ao longo do tempo (exemplo: duração da ação, fluência);

- As diferentes condições climáticas (exemplo: temperatura, variação de humidade);
- As diferentes situações de cálculo (exemplo: fases de construção).

É possível estabelecer uma metodologia de cálculo para as estruturas de madeira de acordo com NEGRÃO & FARIA, ver figura 3.1.

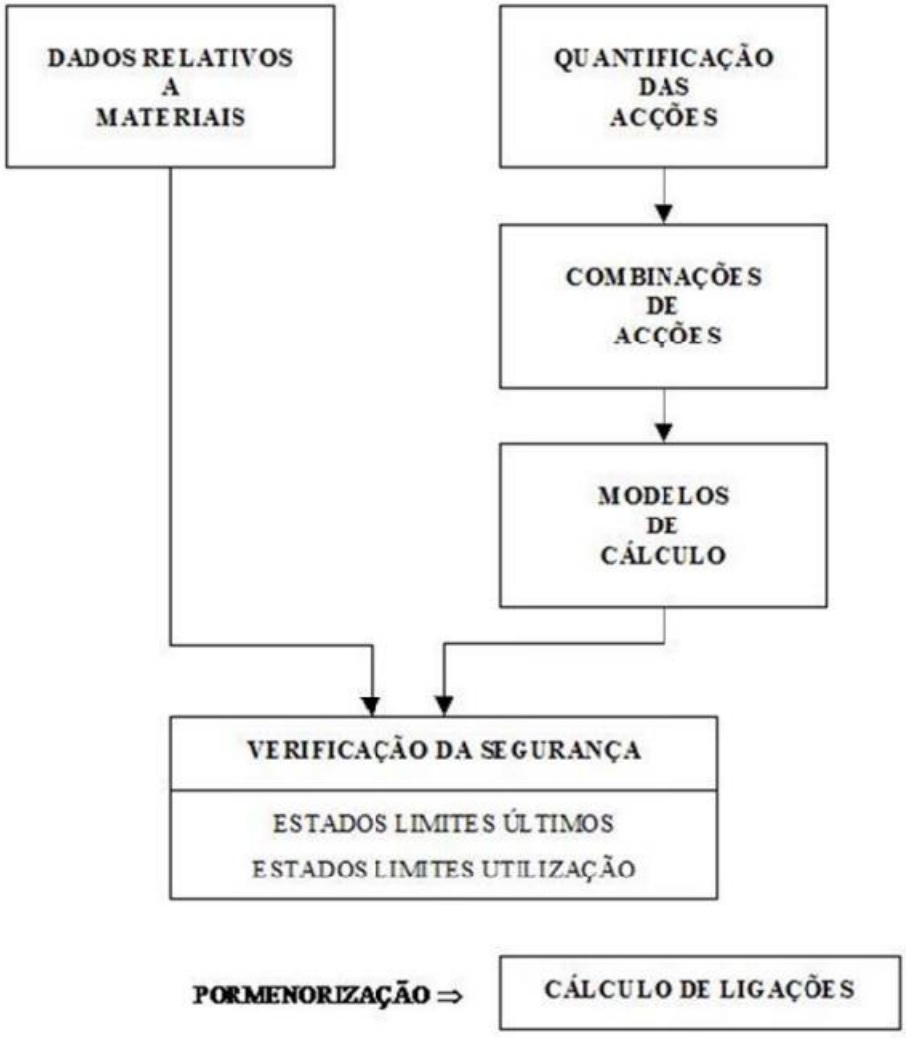


Figura 3.1 – Metodologia de Cálculo de Estruturas de Madeira, [13].

3.3. MÉTODO DOS COEFICIENTES PARCIAIS

3.3.1. VALOR DE CÁLCULO DE UMA PROPRIEDADE DE UM MATERIAL

Para realizar uma avaliação estrutural a partir do método dos coeficientes parciais (método de verificação da segurança mais adequado e presente no EC5) é preciso estabelecer e partir de alguns pressupostos:

- Deve ser verificado que nenhum estado limite pertinente seja excedido;

- Todas as situações de projeto e casos de carga apropriados devem ser tidas em conta;

- Os desvios possíveis em relação às direções ou posições admitidas para as ações devem ser tomados em consideração;

- Os modelos devem ser suficientemente precisos para permitirem a previsão do comportamento estrutural, tendo em atenção a qualidade esperada da execução e a fiabilidade das informações em que se baseia o projeto.

É um método determinístico que tem como base a suposição dos parâmetros serem constantes. Por meio da aplicação de coeficientes parciais de segurança, as ações e as resistências acabam por ser corrigidas de forma a ter em conta o seu caráter probabilístico.

Portanto, para realizar a verificação através do método dos coeficientes parciais, é preciso estabelecer o valor de cálculo da propriedade de resistência de um material, X_d, que é dado pela seguinte expressão:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \tag{3.1}$$

em que:

X_d – é o valor de cálculo de uma propriedade de resistência;

X_k – é o valor característico de uma propriedade de resistência;

γ_M – é o coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material;

k_{mod} – é o fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito da duração das ações e do teor em água.

Os valores recomendados para os coeficientes parciais de segurança são apresentados abaixo de acordo com o EC5 (quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Coeficientes parciais de segurança, γ_M (Adaptado de EC5), [16]

Combinações fundamentais	γ_M
Madeira Maciça	1,3
Madeira Lamelada Colada	1,25
LVL[1], Contraplacado e OSB[1]	1,2
Aglomerados	1,3
Ligações	1,3
Ligadores em placas metálicas perfuradas	1,25
Combinações de acidentes	1

[1] LVL – "Laminated veneer timber" – madeira micro-lamelada colada; OSB – "Oriented strand board" – aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas

É importante ressaltar que o cálculo de ligações, numa primeira fase, é feito através da utilização de valores característicos das propriedades dos materiais, sendo os coeficientes de segurança apenas aplicados no final aos resultados obtidos.

O valor de cálculo de uma propriedade de rigidez de um elemento (E_d *ou* G_d) deve ser obtido através da utilização das seguintes equações:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M} \tag{3.2}$$

$$G_d - \frac{G_{mean}}{\gamma_M} \tag{3.3}$$

em que:

E_d – é o valor de cálculo do módulo de elasticidade;

G_d – é o valor de cálculo do módulo de distorção.

3.3.2. Valor de Cálculo dos Dados Geométricos

Os dados geométricos relativos às secções transversais e aos sistemas poderão ser considerados como valores nominais e obtidos das normas europeias harmonizadas (hEN) dos produtos ou dos desenhos de execução.

3.3.3. Valor de Cálculo das Resistências

O valor de cálculo R_d da capacidade resistente de um material deve ser calculado através da utilização da seguinte equação:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \tag{3.4}$$

em que:

R_K – é o valor característico da capacidade resistente;

γ_M – é o coeficiente parcial de segurança do material.

k_{mod} – é o fator de modificação que tem em conta o efeito da duração das ações e do teor em água.

3.3.4. Valores de Cálculo de K_{MOD} e K_{DEF}

São apresentados nos quadros abaixo os valores de cálculo de k_{mod} e k_{def} extraídos diretamente do EC5, pelo fato de serem fatores de extrema importância no cálculo de estruturas de madeira.

Quadro 3.2 – Valores de k_{mod} (Adaptado de EC5), [16]

Material	**Norma**	**Classe de Serviço**	**Classe de duração das ações**				
			Ação permanente	**Ação de longa duração**	**Ação de média duração**	**Ação de curta duração**	**Ação instantânea**
Madeira Maciça	EN 14081 – 1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madeira Lamelada Colada	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Contraplacado	EN 636						
	Parte 1, Parte 2, Parte 3,	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Parte 2, Parte 3 Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Quadro 3.2 - Continuação

OSB	EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Aglomerado de partículas de madeira	EN 312						
	Parte 4, Parte 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Parte 6, Parte 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Aglomerado de fibras de madeira duro	EN 622-2						
	HB.LA, HB.HLA 1 ou 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA 1 ou 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Aglomerado de fibras de madeira semi-duro	EN 622-3						
	MBH.LA 1 ou 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1 ou 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1ou 2	2	-	-	-	0,45	0,80
Algomerado de fibras de madeira de média densidade (MDF)	EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

Quadro 3.3 – Valores de k_{def} (Adaptado do EC5) k_{mod}

Material	**Norma**	**Classe de Serviço**		
		1	2	3
Madeira Maciça	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Madeira Lamelada Colada	EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Contraplacado	EN 636			
	Parte 1	0,80	-	-
	Parte 2	0,80	1,00	-
	Parte3	0,80	1,00	2,50
OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Aglomerado de partículas de madeira	EN 312			
	Parte 4	2,25	-	-
	Parte 5	2,25	3,00	-
	Parte 6	1,50	-	-
	Parte 7	1,50	2,25	-
Aglomerado de fibras de madeira duro	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	-	-
	HB.HLA 1, HB.HLA 2	2,25	3,00	-
Aglomerado de fibras de madeira semi-duro	EN 622-3			
	MBH.LA 1, MBH.LA 2	3,00	-	-
	MBH.HLS 1, MBH.HLS 2	3,00	4,00	-
Aglomerado de fibras de madeira de média densidade (MDF)	EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	-	-
	MDF.HLS	2,25	3,00	-

3.4. AÇÕES E COMBINAÇÕES DE AÇÕES

3.4.1 INTRODUÇÃO

Os projetos de estruturas de madeira devem obedecer às bases de dimensionamento que são abordadas no Eurocódigo 0 (EN 1990: 2002). É neste Eurocódigo que são apresentadas as bases de projetos que regem as restantes normas, como por exemplo o EC5.

As ações, combinações de ações e todos os outros elementos que são necessários para a quantificação dos esforços atuantes numa estrutura em análise são obtidos de uma forma muito semelhante. É possível quantificar as ações de acordo com o Regulamento de Segurança e Ações (RSA) e verificar a segurança de acordo com o EC5. O EC5 estabelece como utilizar os Eurocódigos de ações para a verificação de segurança e define o Eurocódigo 1 (NP EN 1991 – 1 e NP EN 1991 – 2) como o preferencial na realização dos cálculos de verificação da estabilidade.

É preciso considerar as ações de aplicação direta tais como as cargas permanentes, sobrecargas, vento, neve e sismos, e as ações indiretas como as ocasionadas por assentamento de apoios e ações induzidas pela variação do teor de água nas peças. É necessária a quantificação das ações para toda a vida útil da estrutura, incluindo também na quantificação o caráter estático ou dinâmico das ações estimadas.

Como visto anteriormente, o cálculo de estruturas de madeira de acordo com o EC5 recorre à verificação dos estados-limite últimos de segurança e utilização e, quando aborda o cálculo de ações, pode-se dizer que não há especificidades muito importantes, com a exceção dos efeitos da duração das ações e do teor em água da madeira em serviço que acabam por influenciar as propriedades dos materiais e o próprio comportamento da estrutura. O EC5 quantifica a influência desses fatores por meio dos coeficientes k_{mod} e k_{def} , abordados anteriormente.

As partes relevantes da EN1 que devem ser consideradas são as seguintes:

- EN 1991-1-1 Pesos Volúmicos, próprios e sobrecargas;
- EN 1991-1-3 Ações da neve;
- EN 1991-1-4 Ações do vento;
- EN 1991-1-5 Ações térmicas;
- EN 1991-1-6 Ações durante a execução;
- EN 1991-1-7 Ações de acidente.

Assim como qualquer projeto de estruturas, a quantificação dos esforços atuantes exige a definição prévia das ações e das combinações de ações. Como foi demonstrado no ponto 3.2 “Bases de projeto”, as ações são a causa que provoca o aparecimento dos esforços ou deformações nas estruturas, sendo possível defini-las como:

- Ações permanentes (G): de uma forma geral, abrangem o peso próprio da estrutura como por exemplo, o peso das telhas, o peso da madeira, o peso das peças metálicas. Pode-se

dizer que apresentam valores quase constantes ao longo de toda a vida útil da estrutura. As variações são de uma ordem muito pequena;

- Ações variáveis (Q): ações variáveis ou quase-permanentes, e que englobam as cargas de utilização, a ação do vento e da neve;
- Acidentais (A): São ações com uma probabilidade muito pequena de ocorrência mas que, no caso de acontecerem, apresentam uma intensidade muito elevada; Podem-se destacar, como exemplos, casos de explosões ou embates violentos na estrutura.

3.4.2. Classes de Serviço e de Duração das Ações

O cálculo de estruturas de madeira deve variar consoante o ambiente em que os elementos se encontram, pois, o fator ambiental determina as condições de equilíbrio termo-higrométrico que se refletem em diferentes dimensões das peças conforme o teor em água em que se encontram.

O EC5 resolve essa questão por meio do conceito de classes de serviço. As classes de serviço são três e correspondem basicamente às classes de risco definidas na Norma EN 335.1, e que correspondem a durabilidade natural da madeira consoante as condições ambientais em que se encontram, tendo grande influência na capacidade resistente e na durabilidade.

Quadro 3.4 – Classes de risco (Adaptado da NP EN 335-1:1994)

Classes de risco	**Situações gerais de serviço**	**Exposição a Humidade**	**Teor em água**
1	Ambiente interior protegido	Nenhuma	≤20%
2	Ambiente interior não protegido ou exterior, não sujeito à ação direta das chuvas e em contato muito esporádico com água em fase líquida	Ocasional	Ocasionalmente >20%
3	Ambiente exterior em contato frequente com água das chuvas, muitas vezes em períodos longos	Frequente	Frequentemente >20%
4	Em contato com água doce no estado líquido	Permanente	Permanentemente >20%
5	Permanentemente imerso em água salgada	Permanente	Permanentemente >20%

As classes de risco 1 a 3 correspondem respetivamente às classes de serviço 1 a 3 presentes no Eurocódigo 5. Quanto as situações de risco 4 e 5, o EC5 não se aplica a estruturas sujeitas a tais situações de risco.

Quadro 3.5 – Classes de serviço (Adaptado do EC5), [16]

Classe de serviço	Condições ambientais	Localização
1	T=20°C HR>65% em poucas semanas do ano	Estruturas interiores em geral
2	T=20°C HR>85% em poucas semanas do ano	Estruturas exteriores cobertas
3	HR>HR classe 2	Estruturas em ambientes muito húmidos (interiores ou exteriores)

No que diz respeito a duração das ações, o EC5 prevê 5 categorias, associadas a duração acumulada dos valores das ações de acordo com a seguinte tabela.

Quadro 3.6 – Classe de duração das ações (Adaptado de EC5), [16]

Classe de duração das ações	Valor acumulado da duração da ação característica	Ação
Permanente	>10 anos	Peso Próprio
Longa duração	Entre 6 meses e 10 anos	Sobrecargas de caráter permanente
Média duração	Entre 1 semana e 6 meses	Sobrecargas correntes, neve em certos casos
Curta duração	<1 semana	Vento, neve em certos casos
Instantânea	-	Vento, neve em certos casos

Pode-se dizer que em Portugal a neve será sempre uma ação de curta duração e as sobrecargas serão consideradas como ações de média duração.

Para a verificação da estabilidade, os coeficientes de segurança são definidos em função de outros dois coeficientes escolhidos para cada situação concreta em função da classe de serviço e da duração da ação (k_{mod} e k_{def}) e dos coeficientes de segurança a considerar para os materiais utilizados (γ_M).

3.5. ESTADOS LIMITES

3.5.1 DEFINIÇÃO GERAL

É possível definir os estados limites como estados nos quais a estrutura deixa de satisfazer as exigências de projeto. Classificam-se em Estados Limites Últimos e Estados Limites de Utilização.

"Os Estados Limites Últimos estão relacionados com o colapso, ou outras formas de rotura da estrutura que ponham em perigo a segurança das pessoas. Para além disso, os estados que precedem o colapso estrutural e que, por simplificação, são considerados de forma diferente do colapso propriamente dito, também são classificados e tratados como estados limites últimos.", [16].

Quando há uma perda de equilíbrio da estrutura ou parte dela que seja considerada como um corpo rígido, ou quando há um colapso originado por uma deformação excessiva, uma rotura ou perda de estabilidade localizada da estrutura e de parte dos seus elementos, é possível considerar que a estrutura entrou em Estado Limite Último.

Por outro lado, os Estados Limites de Utilização estão relacionados com os estados de deformação e de vibração para além dos quais as condições de utilização especificadas deixam de ser satisfeitas, sendo possível considerar como Estados Limites de Utilização os casos em que deformações ou deslocamentos afetam o aspeto ou a utilização efetiva da estrutura ou que provocam danos em revestimentos ou elementos que não fazem parte da estrutura.

Além disso, devem ser também considerados os casos em que vibrações, desconfortáveis ou não para os utilizadores, provoquem danos na construção, no seu interior ou que limitem a sua eficiência funcional.

É preciso ter em atenção alguns fatores para a verificação de segurança dos estados limites, sendo eles:

- Diferenças nas propriedades dos materiais;
- Comportamento dos materiais relativamente à duração das cargas e à fluência;
- Influência das condições climáticas, como por exemplo a temperatura e as variações de humidade;
- Diferentes situações de projeto (situações persistentes, transitórias ou acidentais), tendo em conta as diversas fases de construção que implicam distintas condições de apoio ou ligações.

3.5.2. Estados Limites Últimos – valores de cálculo dos parâmetros de rigidez

Para a verificação da segurança em relação aos estados-limite últimos, em que a distribuição dos esforços nos elementos é afetada pela distribuição de rigidez na estrutura, os valores médios finais do módulo de elasticidade, $E_{mean,fin}$, do módulo de distorção, $G_{mean,fin}$, e do módulo de deslizamento, $K_{ser,fin}$, deverão ser obtidos com as seguintes expressões: [13]

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.5}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.6}$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.7}$$

em que,

E_{mean} – é o valor médio do módulo de elasticidade;

G_{mean} – é o valor médio do módulo de distorção;

K_{ser} – é o módulo de deslizamento [N/mm], aplicável ao cálculo do deslizamento de uma ligação [em mm] em função do esforço aplicado em Newton [N];

k_{def} – é o fator para avaliação da deformação devida à fluência e que tem em conta a classe de serviço pertinente;
Ψ_2 – é o coeficiente para o valor quase-permanente da ação.

3.5.3. Estados Limites Últimos

Para a verificação da segurança em relação aos estados-limite últimos, em que a distribuição dos esforços nos elementos é afetada pela distribuição de rigidez na estrutura, os valores médios finais do módulo de elasticidade, $E_{mean,fin}$, do módulo de distorção, $G_{mean,fin}$, e do módulo de

deslizamento, $K_{ser,fin}$, deverão ser obtidos com as seguintes expressões: (NEGRÃO & FARIA, 2009), [13]:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.8}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.9}$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{\left(1+\psi_2 k_{def}\right)} \tag{3.10}$$

em que,

E_{mean} – é o valor médio do módulo de elasticidade;

G_{mean} – é o valor médio do módulo de distorção;

K_{ser} – é o módulo de deslizamento [N/mm], aplicável ao cálculo do deslizamento de uma ligação [em mm] em função do esforço aplicado em Newton [N];

k_{def} – é o fator para avaliação da deformação devida à fluência e que tem em conta a classe de serviço pertinente;

Ψ_2 – é o coeficiente para o valor quase-permanente da ação.

3.5.4. Estados Limites de Utilização

Os estados limites de utilização mais relevantes em um projeto de estruturas de madeira são o de deformação e o de vibração. Como a madeira apresenta uma rigidez relativamente baixa, o estado de deformação é crítico para o dimensionamento da estrutura e deve ser tratado com muita consideração e atenção.

Se na constituição da estrutura existirem elementos ou peças com diferentes propriedades ao longo do tempo, a verificação da segurança relativamente ao estado-limite de serviço deve ser realizada a partir dos valores médios finais do módulo de elasticidade, $E_{mean,fin}$, do módulo de distorção, $G_{mean,fin}$, e do módulo de deslizamento, $K_{ser,fin}$, utilizados para o cálculo da deformação final. Os valores deverão ser obtidos com as seguintes expressões:

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (3.11)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (3.12)$$

$$K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})} \quad (3.13)$$

em que,

E_{mean} – é o valor médio do módulo de elasticidade;

G_{mean} – é o valor médio do módulo de distorção;

K_{ser} – é o módulo de deslizamento [N/mm], aplicável ao cálculo do deslizamento de uma ligação [em mm] em função do esforço aplicado em Newton [N].

É preciso que as deformações nos elementos estruturais sejam verificadas considerando os efeitos desfavoráveis originados por vibrações e a limitação do deslizamento das ligações entre elementos. No caso das deformações provenientes dos efeitos das ações, como esforços normais e transversos, e da variação do teor de água, devem ser mantidas dentro de limites adequados, para que dessa forma não sejam verificados danos nos materiais e para que sejam mantidas as exigências funcionais e de aspecto.

A deformação instantânea, u_{inst}, deve ser calculada para uma combinação característica de ações de acordo com o EN 1990 (EC0), utilizando valores médios apropriados dos módulos de elasticidade, de distorção e de deslizamento e em geral valores provenientes de uma análise linear elástica de primeira ordem. Para além disso, a deformação instantânea deve ser calculada para uma combinação de ações quase-permanente, de acordo com o EC0.

No que toca a estruturas constituídas por elementos, componentes e ligações com características de fluência iguais e considerando uma relação linear entre as ações e as deformações, a deformação final, u_{fin}, poderá ser considerada igual a:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum_{i>1} u_{fin,Q_i} \tag{3.14}$$

em que, para uma ação permanente, G:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}\left(1 + k_{def}\right) \tag{3.15}$$

para a ação variável de base da combinação, Q_1:

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1}\left(1 + \psi_{2,1} k_{def}\right) \tag{3.16}$$

para os valores das ações variáveis secundárias, Q_i $(i > 1)$:

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i}\left(\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}\right) \tag{3.17}$$

sendo,

$u_{inst,\,G}$, $u_{inst,\,Q,1}$, $u_{inst,\,Q,\,i}$ – deformações instantâneas para as respetivas ações: G, Q_1, Q_i;

$\psi_{2,1}$, $\psi_{2,\,i}$ - Coeficientes para o valor quase-permanente das ações variáveis;

$\psi_{0,i}$ – coeficientes para o valor de combinação das ações variáveis;

K_{def} - fator de deformação devido a fluência de acordo com a classe de serviço do material.

É possível verificar através da figura 2.2 as diferentes componentes da deformação de uma viga simplesmente apoiada quando submetida a uma combinação de ações.

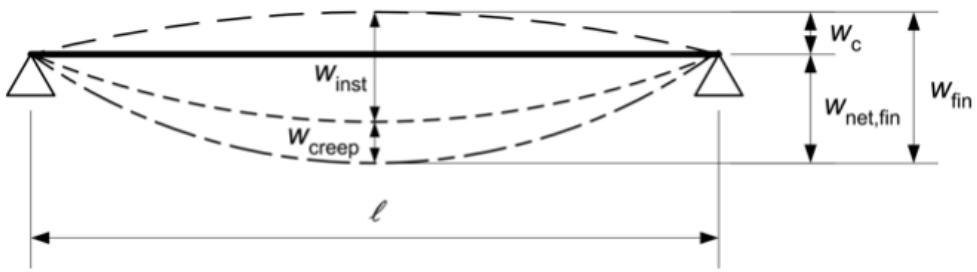


Figura 3.2 – Componentes de deformação de uma viga, (EC5)

A deformação/deflexão líquida abaixo da linha de apoio dos dois suportes é dada pela deformada final que pode ser calculada através da expressão:

$$U_{net,\,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c = u_{fin} - u_c \quad (3.18)$$

em que,

$u_{net,\,fin}$ – Deformada final

u_{inst} – Deformada instantânea

u_{creep} – Deformada devido a fluência

u_c – Pré-deformada (caso exista)

u_{fin} – Deformada final total

De acordo com o EC5, os valores para as deformações não devem exceder um limite específico consoante as condições de apoio. No quadro abaixo é possível verificar o valor para as flechas máximas admissíveis.

Quadro 3.7 - Deformações admissíveis, de acordo com o EC5, parte 1.1

Condições de apoio	**u_{inst}**	**$u_{net,\,fin}$**	**u_{fin}**
Viga simplesmente apoiada	l/300 a l/500	l/250 a l/350	l/150 a l/300
Viga encastrada	l/150 a l/250	l/125 a l/175	l/75 a l/150

3.6. CAPACIDADE RESISTENTE DE MATERIAIS– VALORES A USAR NOS CÁLCULOS

3.6.1. CLASSES DE RESISTÊNCIA

A resistência da madeira que será empregue poderá ser especificada para os diferentes elementos estruturais através de duas vias:

- Através da escolha de uma determinada espécie de madeira e especificação da Classe de Qualidade[2] pretendida;
- Definição da resistência mecânica pretendida, especificando a Classe de Resistência correspondente.

No que diz respeito à Classe de Resistência, pode-se dizer que é um conjunto de classes de qualidade, decorrentes de sistemas de classificação (visual ou mecânica) de madeiras para estruturas, representado para fins de dimensionamento pelas mesmas propriedades físicas e

mecânicas. Portanto, o princípio das classes de resistência assenta na atribuição das principais propriedades físicas e mecânicas a um determinado grupo de madeiras.

O sistema de Classes de Resistência está estabelecido na EN 338:2009 "Structural Timber – Strenght" e compreende nove classes para as Resinosas e seis para as Folhosas. Tal separação em dois grupos reside no fato de que as Folhosas, comparativamente com as Resinosas, poderem apresentar valores superiores de massa volúmica sem que tal fato corresponda sempre a valores superiores de resistência ou elasticidade (Coutinho, 1999).

No quadro abaixo é possível verificar as classes de resistência para as resinosas, de acordo com a norma EN 338.

Quadro 3.8 – Classes de resistência das resinosas (Adaptado de EC5)

Resinosas		**CLASSE DE RESISTÊNCIA**											
Propriedades resistentes (MPa)		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tração paralela ao fio	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tração perpendicular ao fio	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão paralela ao fio	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão perpendicular ao fio	$f_{c,90,k}$	2,00	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Propriedades de rigidez (GPa)													
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16

Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo de elasticidade perpendicular ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidade (kg/m^3)													
Densidade	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Densidade média	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

[2]Classe de Qualidade - madeira de uma dada espécie ou de um determinado grupo de espécies consideradas equivalentes em termos de comportamento mecânico, classificada numa dada qualidade segundo regras de limitação de defeitos – por exemplo os nós ou o fio inclinado – ou segundo a avaliação de uma propriedade mecânica – por exemplo o módulo de elasticidade. A norma de classificação deve obedecer ao disposto na EN 518 – classificação visual – ou na EN 519 – classificação mecânica. (LNEC M1, 1997).

Para as Folhosas, de acordo com a EN 338, pode-se observar o seguinte quadro 3.9 abaixo.

Quadro 3.9 – Classes de resistência das folhosas (Adaptado de EC5), [16]

Folhosas		**CLASSE DE RESISTÊNCIA**					
Propriedades resistentes (MPa)		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tração paralela ao fio	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tração perpendicular ao fio	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Compressão paralela ao fio	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão perpendicular ao fio	$f_{c,90,k}$	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3	3,4	3,8	4,6	5,3	6
Propriedades de rigidez (GPa)							
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor médio)	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
Módulo de elasticidade paralelo ao fio (valor característico)	$E_{0,05}$	8	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo de elasticidade perpendicular ao fio (valor médio)	$E_{90,mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de Distorção	G_{mean}	0,6	0,65	0,7	0,88	1,06	1,25
Densidade (kg/m^3)							
Densidade	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Densidade média	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080

Visto que no caso de estudo da presente dissertação é utilizada a Madeira Lamelada Colada, é de extrema importância referir as Classes de Resistência e os valores característicos da mesma. De acordo com a norma NP EN 1194 (2002) é possível referir abaixo no seguinte quadro as classes de resistência da madeira lamelada colada.

Quadro 3.10 – Valores característicos da resistência e rigidez (em N/mm^2) e da massa volúmica (em kg/m^3) (para madeira lamelada-colada homogênea)

Classe de resistência da madeira lamelada-colada homogênea		**GL 24h**	**GL 28h**	**GL 32h**	**GL 36h**
Resistência à flexão	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Resistência à tração	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Resistência à compressão	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Resistência ao corte	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Módulo de Elasticidade	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Módulo de distorção	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Massa volúmica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

Quadro 3.11 – Valores característicos da resistência e rigidez (em N/mm^2) e da massa volúmica (em kg/m^3) (para madeira lamelada-colada combinada)

Classe de resistência da madeira lamelada-colada homogênea		**GL 24c**	**GL 28c**	**GL 32c**	**GL 36c**
Resistência à flexão	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Resistência à tração	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Resistência à compressão	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Resistência ao corte	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8

Módulo de Elasticidade	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Módulo de distorção	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
Massa volúmica	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

Os valores presentes na EN 338 foram obtidos da seguinte maneira:

- As principais propriedades físicas e mecânicas (massa volúmica, resistência a flexão na direção das fibras ($f_{m,k}$) e o módulo de elasticidade) foram obtidas através de ensaios em laboratório.
- As restantes propriedades mecânicas são resultado de relações numéricas que foram obtidas por meio de extrapolações estatísticas de inúmeros ensaios. Tais propriedades são obtidas a partir das três principais propriedades através de relações numéricas simples.

4

CASO DE ESTUDO – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO LOCAL

4.1. INTRODUÇÃO

Para entender a região que será inserida a nova moradia, neste capítulo começa-se por fazer uma contextualização histórica e uma caracterização completa a nível social e económico do local onde a moradia estudada se insere.

Para além disso, faz-se neste capítulo uma caracterização geral da moradia estudada e da sua arquitetura, integração urbanística e infraestruturas públicas de apoio existentes no local.

4.2. LAVRA E A SUA CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

A Vila de Lavra é a freguesia mais ao norte do concelho de Matosinhos. Faz fronteira com o concelho de Vila do Conde ao norte, com o concelho da Maia ao leste, com a freguesia de Perafita ao sul e a oeste é banhada pelo Oceano Atlântico.

No que diz respeito à história de Lavra, pode-se afirmar que a mesma é muito antiga. O mais antigo vestígio de presença humana na região remete ao segundo milênio a.C. A presença de fossas escavadas na Idade do Bronze confirma a importância da região desde a Antiguidade Clássica e que se manteve durante a Idade Média.

Na época da conquista da Península Ibérica pelos romanos, a região de Lavra (*Vila Labra)* ficou integrada na província de Terraconese. Uma das consequências da conquista foi o começo de uma

atividade sustentada de pesca e a criação de indústrias associadas e do respetivo comércio, com destaque para a indústria do garum (molho de peixe da época romana), da salga e da venda de peixe fresco e salgado.

Muito mais tarde, no período de restauração do liberalismo em Portugal, mais especificamente nas Guerras Liberais (1828-1834), Lavra serviu para desembarque do rei D. Pedro IV na Praia dos Ladrões, que se passou a chamar desde essa altura "Praia da Memória", recebendo posteriormente, como memória do desembarque, um monumento a atestar o acontecimento (Obelisco da Memória), ver figura 4.1 [17].

Durante a mesma época (1833), procedeu-se a uma reorganização administrativa em Portugal, sendo criado o concelho de Bouças (atual Matosinhos), na qual Lavra foi integrada juntamente com Perafita.

O contexto e as marcas históricas de Lavra vão mais além e em 1856 passa por um surto de cólera *morbus* sendo a freguesia do concelho de Bouças que mais foi afetada. Quase cem anos mais tarde, em junho de 1945, após o rendimento da Alemanha Nazi, um submarino alemão afunda na costa da região de Lavra, sendo possível visitá-lo nos dias de hoje por meio de mergulho.

No dia 1 de julho de 2003 Lavra foi elevada a vila e atualmente integra a União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo.



Fig. 4.1 – Obelisco da Memória, [17]

4.3. LAVRA ATUALMENTE – ENQUADRAMENTO TERRITORIAL

Lavra é uma vila, antigamente uma freguesia autónoma, que atualmente integra, desde 2013, após uma reforma administrativa nacional, a União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo. Pertence ao concelho de Matosinhos, e consequentemente ao Distrito do Porto, e é limitada

a norte por Vila do Conde a leste pelo concelho da Maia, a sul para antiga freguesia de Perafita e a Oeste pelo Oceano Atlântico, ver figura 4.2 [18].

Atualmente, Lavra conta com $12km^2$ de superfície, 10 033 habitantes, uma densidade de 946,5 habitantes por km^2 e é formada por oito lugares, sendo eles: Pampelido, Avilhoso, Cabanelas, Paiço, Antela, Lavra, Angeiras e a Praia de Angeiras (dados de 2011). Tais locais constituem a única comunidade de pesca artesanal do concelho de Matosinhos, sendo notável, nesse sentido, que Lavra pode considerar-se atualmente a região mais conservadora de todo o concelho.

Para além de pescadores, pode-se dizer que os Lavrenses contribuem para os setores secundário e terciário.

Mesmo com o passar dos anos, Lavra e os seus habitantes mantêm-se fiéis à maior parte das suas tradições, tendo como exemplo uma linguagem característica, ao contrário das restantes freguesias do concelho. Entretanto, com o tempo essas tradições têm vindo a diminuir.



Fig. 4.2 – Enquadramento Territorial de Lavra, [18]

A figura 4.3 apresenta um mapa de Lavra onde se assinala o terreno onde virá a ser construída a moradia em estudo.



Fig. 4.3 – Planta de Enquadramento Territorial de Lavra; Ponto vermelho – moradia em estudo

4.4. POPULAÇÃO

De uma forma geral, para contextualizar Lavra, é preciso contextualizar toda a União de Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo, visto que as três freguesias constam juntas desde a reforma administrativa nacional em 2013, ver Quadro 4.1 [19]. Pode-se dizer que a União das Freguesias se encontra em uma situação de estabilidade demográfica, com um aumento de 0,8% da população desde o censo de 2011 para o censo de 2021.

Ao nível total do concelho de Matosinhos, pelo contrário, verifica-se uma variação (-1,6%) negativa da população, com 175 478 habitantes no censo de 2011 para 172 586 habitantes no censo de 2021.

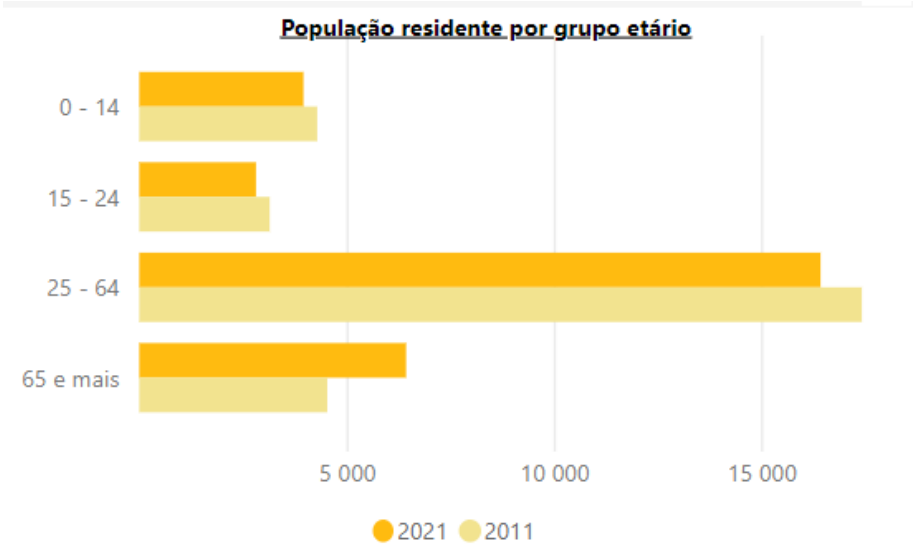
Entretanto, de acordo com o capítulo 4.3 e os dados do Instituto Nacional de Estatísticas, no ano de 2011 Lavra continha 10 033 habitantes.

Quadro 4.1 – Variação da população residente, INE, [19]

Sexo	H			M			Total		
Freguesia	2021	2011	Var.	2021	2011	Var.	2021	2011	Var.
Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo	14 185	14 278	-0,7%	15 468	15 129	2,2%	29 653	29 407	0,8%
Total	**14 185**	**14 278**	**-0,7%**	**15 468**	**15 129**	**2,2%**	**29 653**	**29 407**	**0,8%**

No que toca à faixa etária da População da União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo, verifica-se um envelhecimento crescente e consequentemente uma maioria da população entre os 25 e os 64 anos. É notável também salientar que os jovens de 15 a 24 anos são a minoria, marcada pela imigração e pela procura dos centros urbanos, ver Quadro 4.2 [19].

Quadro 4.2 – Nº de habitantes em função da faixa etária na União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo entre 2011 e 2021, [19]



4.5. ATIVIDADES ECONÔMICAS

A pesca artesanal da comunidade de Lavra até algum tempo atrás era a principal atividade da região. Entretanto com a União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo (Lei 22/2012, 30 de maio) e com a Lei 11-A/2013 de 28 de janeiro, Lavra e Santa Cruz do Bispo assumem um lugar de polos (setores secundário e terciário) onde atualmente se encontram serviços administrativos e os seus diferentes departamentos.

Para além disso, com o desenvolvimento de empreendimentos modernos como por exemplo a requalificação e ampliação do Aeroporto Francisco Sá Carneiro, a requalificação da antiga estrada nacional 107, o Centro de Negócios de Freixeiro, a Exponor e o Metro do Porto (apesar de não

haver estações em toda a região da freguesia), possibilitaram um grande crescimento económico e de qualidade urbanística para a União das Freguesias.

Pode-se dizer que a "*Fabricação de Produtos Metálicos, Exceto Máquinas e Equipamentos",* a *"Reparação, Manutenção e Instalação de Máquinas e Equipamentos"* e a "*Fabricação De Produtos Químicos E De Fibras Sintéticas Ou Artificiais, Exceto Produtos Farmacêuticos"* constituem o maior número de empresas da região, sendo o número exato de 20, 14 e 12 empresas para cada área citada respetivamente. [20]

Com a existência do litoral na extensão da sua região, a comunidade de Lavra acaba por explorar o setor do turismo com a presença de hotéis, parques de campismo, parques naturais e monumentos.

4.6. DESPORTO, CULTURA E LAZER

Apesar de ser pequena e ter uma população relativamente baixa pode-se destacar alguma diversidade de atividades presentes na região.

No que toca ao desporto destaca-se o Clube União Desportiva Lavrense e o Complexo Municipal de Lavra e a Associação Clube de Desporto C+S de Lavra, uma associação juvenil que desenvolve atividade de apoio ao estudo, desportivas e ocupação de tempos livres, ver figuras 4.4 e 4.5.



Fig. 4.4 – Complexo Municipal de Lavra, [21]



Fig. 4.5 – Associação Clube de Desporto C+S de Lavra, [22]

Na área do lazer vale a pena destacar a presença das praias, como por exemplo a Praia da Agudela, Praia da Memória, Praia Pedras do Corgo, Praia das Pedras Brancas e a Praia do Funtão, ver figura 4.6.



Fig. 4.6 – Vista aérea da Praia da Agudela, Praia Pedras do Corgo, Praia das Pedras Brancas e Praia do Funtão, [23]

A região da União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo ainda conta com a presença do Parque Ecológico Monte de São Brás, que apesar de ser um dos maiores parques de Matosinhos acaba por ir muito além disso, contendo no seu interior uma grande oferta de formações e ateliês para adultos e outras atividades de caráter ambiental para os mais novos, juntando assim a cultura ao lazer.



Fig. 4.7 – Parque Ecológico Monte de São Brás, [24]

No quesito cultura, vale a pena ressaltar a presença do Museu Etnográfico de Lavra, presente na Escola E.B 2,3 Dr. José Domingues dos Santos, o conjunto de Tanques da Praia de Angeiras do

período Romano, o Obelisco da Memória e o Submarino Alemão da Segunda Guerra Mundial, U-1277, que está afundado a 30 metros de profundidade na costa, mas que é acessível a visita por mergulho.

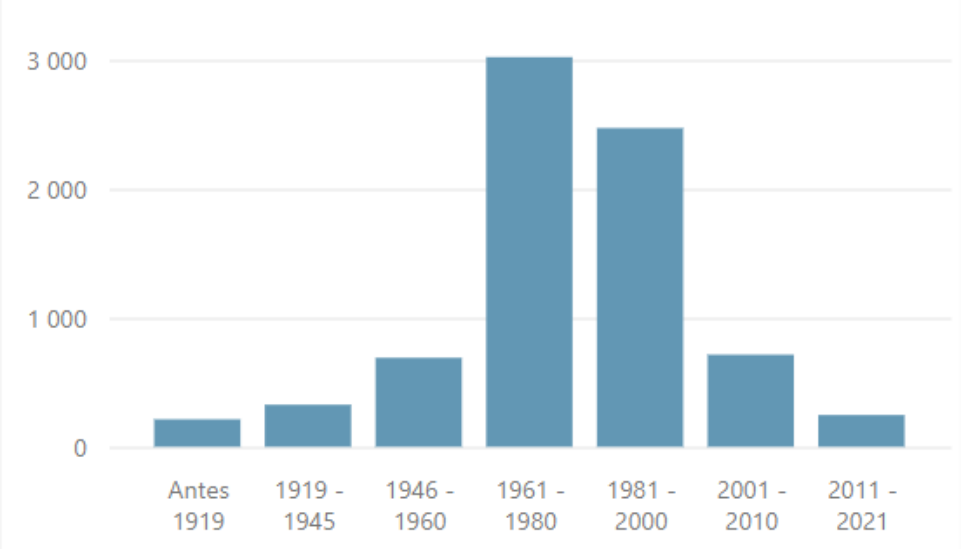


Fig. 4.8 – Tanques da Praia de Angeiras do período Romano, [25]

4.7. EDIFICADO

Para continuar a caracterização geral do caso de estudo é necessário contextualizar o leitor a respeito dos edifícios da região estudada. Abaixo estão apresentados alguns quadros informativos, ver quadros 4.3 e 4.4.

Quadro 4.3 – Edifícios por época de construção da União de Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo, INE, [19]



Quadro 4.4 – Variação do número de edifício por categoria de alojamento familiar, INE, [19]

Tipo	Construído para 1 ou 2 aloj. familiares			Construído para 3 ou mais aloj. familiares			outro tipo			Total		
Freguesia	2021	2011	%	2021	2011	%	2021	2011	%	2021	2011	%
Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo	6 852	6 857	-0,1%	784	771	1,7%	45	40	12,5%	7 681	7 668	0,2%
Total	**6 852**	**6 857**	**-0,1%**	**784**	**771**	**1,7%**	**45**	**40**	**12,5%**	7 681	7 668	0,2%

4.8. ACESSIBILIDADE E MOBILIDADE

4.8.1. REDE DE SISTEMA CICLÁVEL

Como é possível ver no Mapa abaixo (Fig. 4.9) de Hierarquia Funcional do Espaço Canal – Sistema Ciclável, a extensão completa da região costeira do concelho é abrangida por ciclovias com redes principais e secundárias que interligam as freguesias entre si.

4.8.2. REDE RODOVIÁRIA MUNICIPAL

A rede rodoviária do concelho de Matosinhos está dividia em Rede Supraconcelhia (A28, IC24, EN14, IP4, IC1, VRI), Rede de Distribuição Principal, Rede de Distribuição Local e Rede de Acesso Local, ver figuras 4.10 e 4.11. [26]

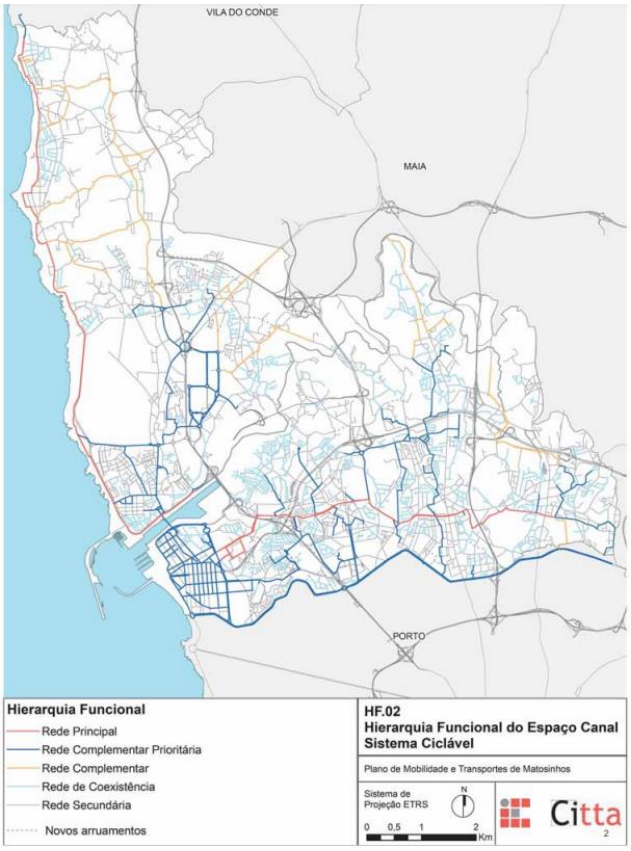


Fig. 4.9 – Sistema Ciclável, [26]



Fonte: Carta Educativa de Matosinhos – Proposta junho de 2006 - Câmara Municipal de

Fig. 4.10 – Principais vias de comunicação do Concelho, [27]

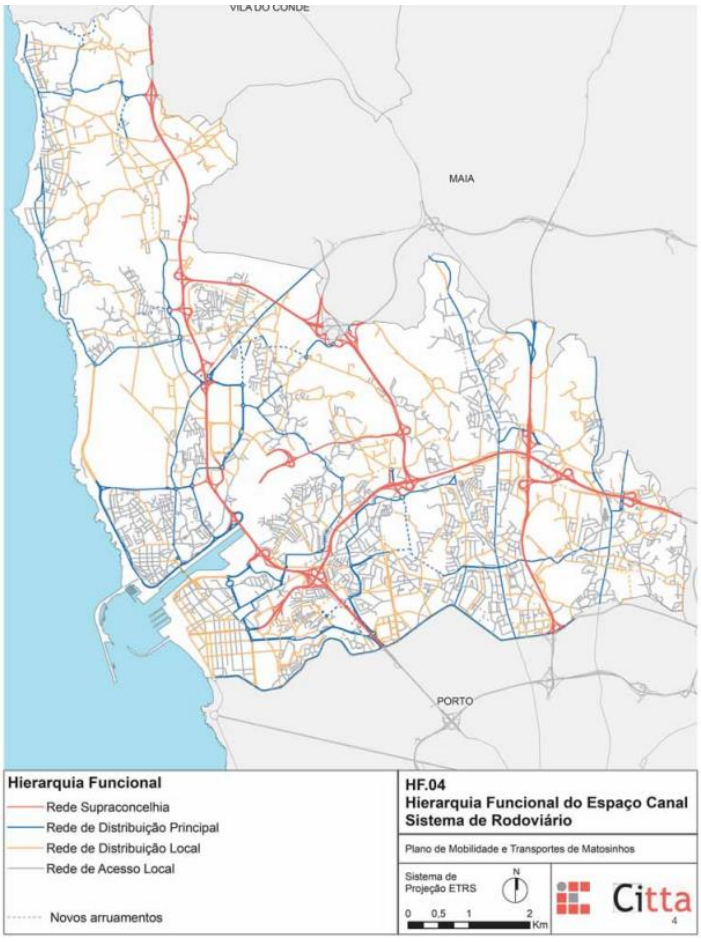
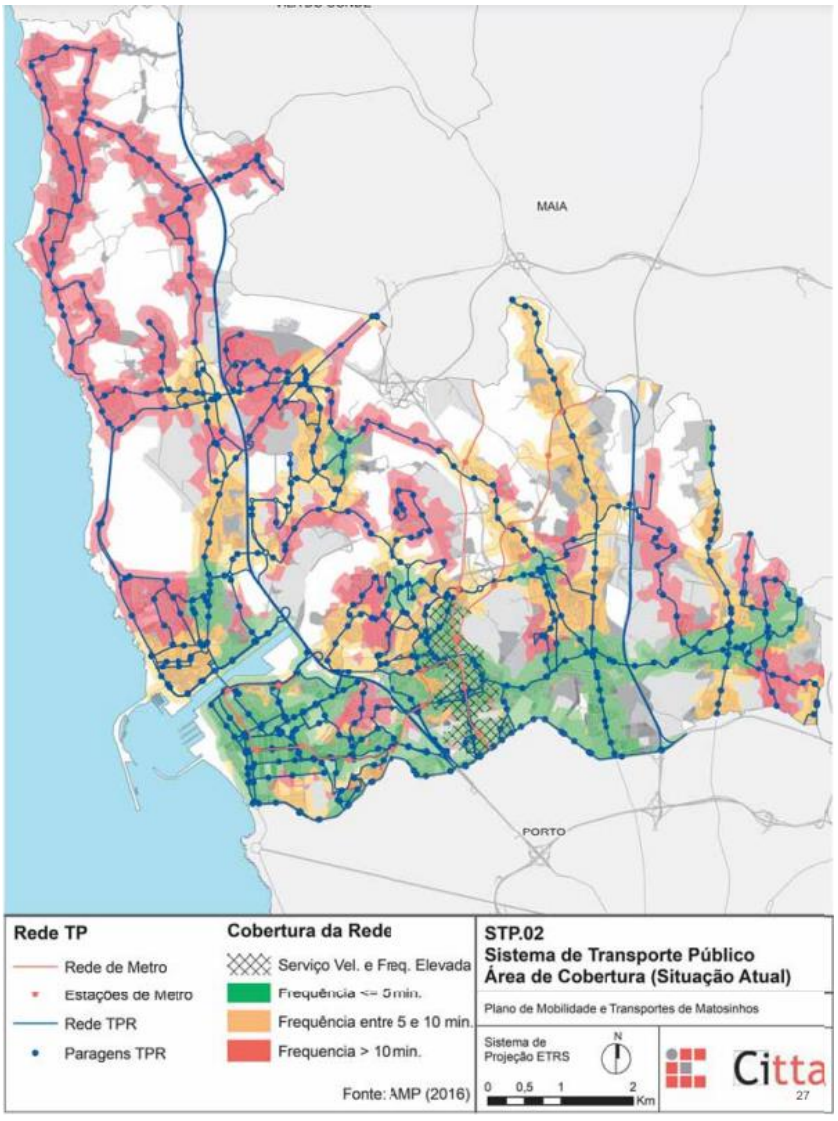


Fig. 4.11 – Sistema Rodoviário, [26]

4.8.3 REDE DE MOBILIDADE

De uma forma geral, o concelho de Matosinhos engloba variados tipos de redes de transporte público, como Rede Ferroviária, Rede de Metro e Rede de Transporte Público Rodoviário. Entretanto, a região da Freguesia de Lavra é abrangida apenas pela Rede de Transporte Público Rodoviário, sendo a área com maior frequência de tempo de espera pelos transportes, ver figura 4.12, [26].



Fonte: PLANO DE MOBILIDADE E TRANSPORTES DE MATOSINHOS

Fig. 4.12 – Sistema de Transporte Público – Área de Cobertura, [26]

4.9. APRESENTAÇÃO GERAL DO CASO DE ESTUDO

4.9.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

A moradia em Lavra, que serviu como caso de estudo, está localizada na Rua Padre António Francisco Ramos, na Freguesia de Lavra (União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo), concelho de Matosinhos. Consiste na construção de raiz de um edifício de habitação unifamiliar com estrutura em madeira do tipo "Timber frame".

A habitação encontra-se em uma área urbana devidamente infraestruturada o que permitirá a manutenção dos ramais existentes (não haverá intervenção no espaço público nem no subsolo). O abastecimento de água será realizado a partir da rede de serviços municipais existente no local e a energia elétrica será através da rede de distribuição da EDP, que será executada em dois circuitos independentes (iluminação e tomadas/ usos gerais). Tendo em conta o poço existente no terreno [Figura 4.] é previsto o seu aproveitamento de água para uso exclusivo para rega da vegetação exterior. A recolha das águas pluviais será feita através de caleiras e tubos de queda ligadas ao coletor público. Existirá a instalação de uma rede de gás para alimentação dos equipamentos de cozinha, enquanto o aquecimento das águas sanitárias será realizado através de um painel solar ligado a termoacumulador.

Através do enquadramento da pretensão nos planos territoriais aplicáveis, o projeto encontra-se de acordo com:

1. a Planta de Ordenamento I – Classificação e Qualificação do Solo do PDM de Matosinhos, em zona de Solo Urbano – Solo Urbanizado: Espaços Urbanos de Baixa Densidade;
2. a Planta de Ordenamento II – Programação do Solo do PDM de Matosinhos, em zona de UOPG 1: O Disperso Mais Perto 1;
3. a Planta de Ordenamento II – Programação do Solo do PDM de Matosinhos, servido por uma via Prioritária para Transporte Individual (TI);
4. a Planta de Ordenamento II – Programação do Solo do PDM de Matosinhos, em Zona A de estacionamento de bicicletas;
5. a Planta de Ordenamento III – Salvaguarda Ambiental e de Riscos, em Zona Mista de zonamento acústico;
6. a Planta de Ordenamento IV – Salvaguarda da Orla Costeira e Florestal, em Sub-região Homogénea Mindelo – Esmoriz do P.R.O.F.E.D.M.;
7. a Planta de Condicionantes I – Domínio Hídrico, parcialmente em zona de Margem da Linha de Água;
8. a Planta de Condicionantes I – Infraestruturas, em Zona 5 de Servidão Aeronáutica;
9. o Alvará de Loteamento

A habitação terá 2 pisos. O primeiro, designado por piso 0 ou rés-do-chão, na parte do fundo do terreno, contém uma garagem com dois lugares para estacionamento e dois quartos para arrumos. Ainda no rés-do-chão, mas já na parte da casa, verifica-se a existência de um quarto com suite, sala comum, lavabo, cozinha, despensa e lavandaria. No segundo piso existe um quarto, despensa para arrumos, casa de banho e uma sala comum para convívio.

De acordo com as opções técnicas do arquiteto presentes na memória descritiva e justificativa, será mantido o alinhamento do muro de vedação da via pública e o mesmo será revestido a réguas de madeira de pinho tratado, incluindo as portas e os portões. A diferença de cota do ponto de entrada do terreno (22,44) e o ponto de entrada do edifício (22,92) será vencida por uma rampa com inclinação de 6%.

Relativamente ao terreno e algumas outras especificações da habitação, pode-se destacar:

- Área total do terreno: 517,50 m^2
- Área de implantação: 186,16 m^2
- Área de impermeabilização: 122,38 m^2
- Área de construção acima do solo: 254,18 m^2
    - Piso 0: 188,35 m^2
    - Habitação: 121,32 m^2
    - Arrumos: 5,41 m^2
    - Estacionamento: 61,62 m^2
    - Piso 1: 65,83 m^2
    - Habitação: 65,83 m^2
- Altura da edificação: 9,16m
- Altura da fachada: 6,23m
- Cota da soleira: 22,94m

A parte estrutural da casa será toda construída a partir de estruturas de madeira, usando como material base a Madeira Lamelada Colada *GL24h*.

Pode-se dizer que a casa está inserida no centro urbano de Lavra, já que está a menos de 1 km de distância da Praia de Angeiras, a 1km da autoestrada IC1 que faz a ligação Supraconcelhia a Matosinhos, ao Porto e a outros concelhos da área metropolitana e está inserida na mesma rua que o edifício da Junta de Freguesia – Polo de Lavra.

Para além disso, vale a pena destacar também que na área à sua volta encontra-se um comércio bem abrangente, como por exemplo farmácias, supermercados, cafeterias, pequenas oficinas de reparações e o Complexo Municipal de Lavra.



Fig. 4.13 – Imagem aérea do terreno, destaque para a existência do poço



Fig. 4.14 – Terreno (fotografia do arquiteto)

Apresentam-se em seguida alguns desenhos de arquitetura da moradia. Os desenhos mais importantes de arquitetura, incluindo cortes e alçados, constam do Anexo A.

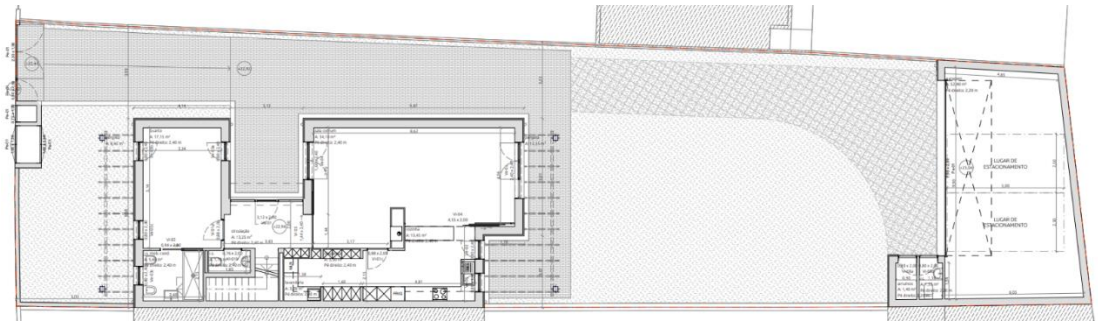


Fig. 4.15 – Planta do rés-do-chão

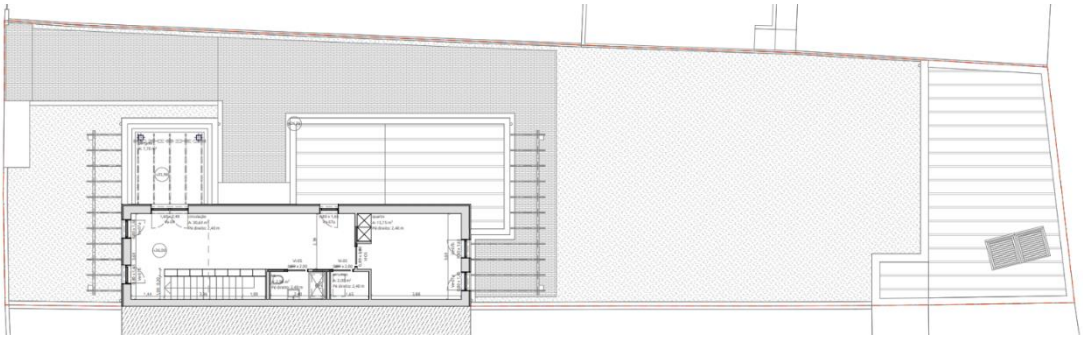


Figura 4.16 – Planta do Piso 1

5

MODELO REVIT DO CASO DE ESTUDO

5.1. INTRODUÇÃO

Desenvolvido pela Revit Technology Corporation no ano de 2000, inicialmente denominada de Charles River Software e fundada em 1997, o software Revit revolucionou os programas de arquitetura, urbanismo, engenharia e design. A empresa foi comprada no ano de 2002 pela Autodesk, passando a integrar o seu catálogo, e aí permanecendo até os dias de hoje.

De forma a auxiliar os profissionais da área de construção na elaboração de projetos, o Autodesk Revit permite desenvolver um projeto desde a sua parte estrutural até a parte arquitetônica, sendo possível explorar e desenvolver as partes hidráulicas, elétricas e mecânicas do mesmo projeto, ver figura 5.1, [25].

Ao mesmo tempo que o utilizador desenha o seu projeto em 2D, o programa automaticamente desenvolve a sua versão 3D juntamente com a lista de materiais associados que serão utilizados na fase de construção, o que faz do Revit um software completo e optimizador de tempo de trabalho, visto que caso haja um erro em algum processo do desenho, a sua alteração reflete-se de imediato em todo o projeto, fazendo com que não seja necessário realizar alterações manualmente, [26].

De acordo com o arquiteto português Hugo Ferramacho, "Quando um técnico desenha o seu trabalho num sistema tradicional de projeto, como o Autocad, há grande possibilidade de cometer-se erros, por projetar a obra peça por peça e às vezes as medidas dos compartimentos das plantas não coincidem em todos os desenhos. Com o uso do software Revit a margem de erro é mínima, atendendo a que este programa utiliza uma tecnologia que permite projetar a obra completa, de uma só vez". [27]

No capítulo 2 apresenta-se o significado de BIM (*Building Information Modeling*) e as suas aplicações em construções em madeira. O Revit utiliza o mesmo conceito e sistema BIM, o que

permite que o seu modelo 3D vá muito além de ser apenas uma maquete digital, aparecendo sim como uma simulação precisa da construção [25].

Cada objeto do projeto acaba por incluir informações reais da obra, fazendo com que o projeto completo seja uma ferramenta de suporte importantíssima ao longo das fases de construção permitindo o acompanhamento de todo o seu ciclo de vida. Para organizar as informações, são utilizadas famílias que, de acordo com o próprio Revit, são "um grupo de elementos com um conjunto comum de propriedades de parâmetros e uma representação gráfica relacionada" [25].

Para além disso, por utilizar o sistema BIM, o Revit oferece uma infraestrutura para trabalhos colaborativos, isto é, permite que diversos profissionais trabalhem simultaneamente no mesmo projeto e em diferentes locais.

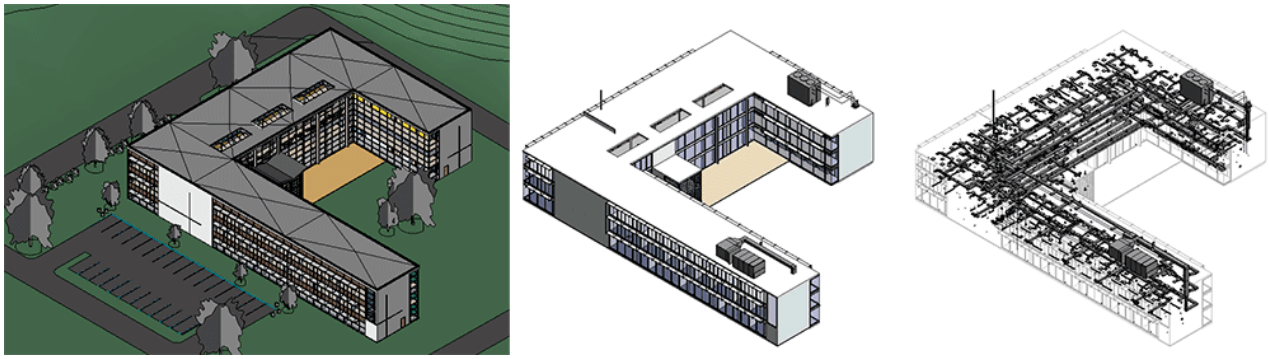


Fig.5.1 – Arquitetura, estrutura e sistemas (hidráulico, elétrico, etc.), [25]

De forma a contextualizar completamente o software Revit para o leitor, é possível dizer que o programa oferece diversas vantagens na sua utilização. Para além disso, é possível dizer também que o mercado da construção civil está sempre em constante evolução e atualização, sendo cada vez mais necessária a utilização de programas inteligentes e completos. O Revit acaba por ser um reflexo disso por ser um software multifuncional que oferece inúmeros recursos ao seu utilizador, ao contrário de outros programas tradicionais, como por exemplo, o AutoCAD.

Podem-se enumerar algumas das vantagens da utilização do software Revit [26]:

- Apresenta uma alta flexibilidade, permitindo que diversos profissionais de diferentes áreas trabalhem em simultâneo no mesmo modelo;
- Estimativa de orçamento – através da introdução de valores dos elementos do projeto é possível gerar uma estimativa de custos por meio de tabelas;
- Visualização 3D – o Revit, através da modelação paramétrica, permite uma simulação consistente de como o projeto ficará quando for executado;
- Alterações rápidas – é comum, ao longo do desenvolvimento de um projeto, o mesmo sofrer alterações; Por ser um software paramétrico, as alterações têm baixo impacto e reduzem significativamente o retrabalho;
- Renderização – de forma a realizar uma apresentação mais elaborada, o Revit conta com recursos de renderização;
- Documentação – as folhas de projeto são geradas rapidamente e qualquer alteração no modelo 3D é imediatamente refletida em todas as folhas.

5.2. METODOLOGIA

O conteúdo aqui apresentado serve para compreender a abordagem e o procedimento utilizados pelo autor no desenvolvimento do seu trabalho de modelação 3D do caso de estudo em questão, uma moradia habitacional em Lavra, descrita no capítulo 4.

A presente dissertação foi desenvolvida inteiramente em fase de projeto, visto que a construção da moradia habitacional em Lavra, localizada na Rua Padre António Francisco Ramos, na Freguesia de Lavra (União das Freguesias de Perafita, Lavra e Santa Cruz do Bispo), concelho de Matosinhos, ainda não foi iniciada.

Assim sendo, numa primeira fase deste capítulo são apresentadas as bases a partir das quais o autor trabalhou para que fosse possível desenvolver desde a raiz a modelação paramétrica 3D da moradia, sendo elas uma base da planta do projeto em AutoCAD 2D e um modelo 3D de verificação de estabilidade estrutural denominado Robot Structural Analysis, ambos fornecidos pela empresa Cerne Projeto e Consultoria.

5.2.1. AUTOCAD 2D

Para que fosse possível desenvolver um modelo 3D fiel ao projeto e ao pretendido para a futura moradia a ser construída, foi disponibilizada uma base da planta em AutoCAD realizada pelos engenheiros da Cerne Projeto e Consultoria. O presente documento concedido continha as 5 plantas de projeto (Planta de fundações, planta de pavimento do piso 0, planta do teto do piso 0, planta do teto do piso 1 e a planta da cobertura) à escala 1:50, ver figuras abaixo.

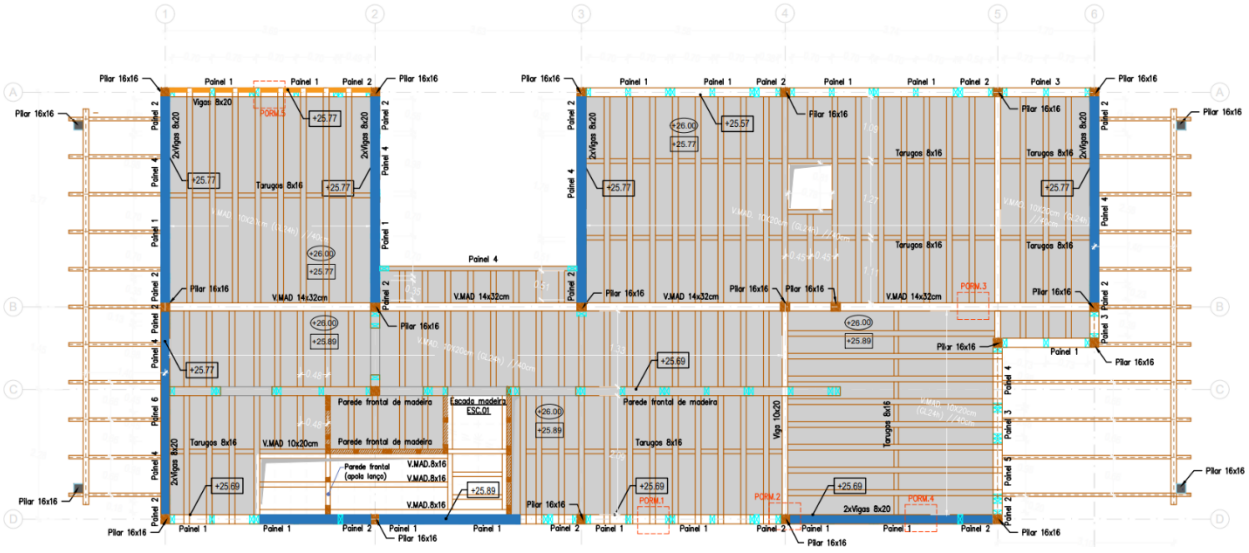


Fig.5.1 – Planta do teto do piso 0

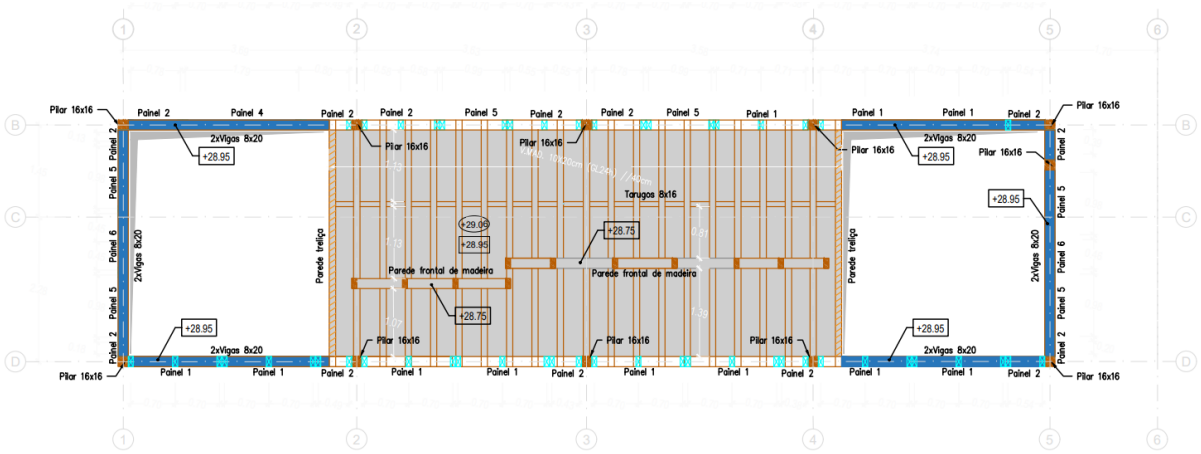


Fig.5.3 – Planta do teto do piso 1

A partir da planta do teto do piso 0 foi possível extrair as principais dimensões e linhas de nível a serem reproduzidas no modelo 3D, assim como foi possível visualizar os pilares, as vigas, os tarugos, as paredes estruturais, a escada e os painéis da fachada pré-fabricados. Dessa mesma forma, a partir da planta do teto do piso 1 (fig. 5.3), foi possível verificar as dimensões do piso 1 e a partir da planta da cobertura (fig. 5.4), foram examinadas as dimensões da mesma.

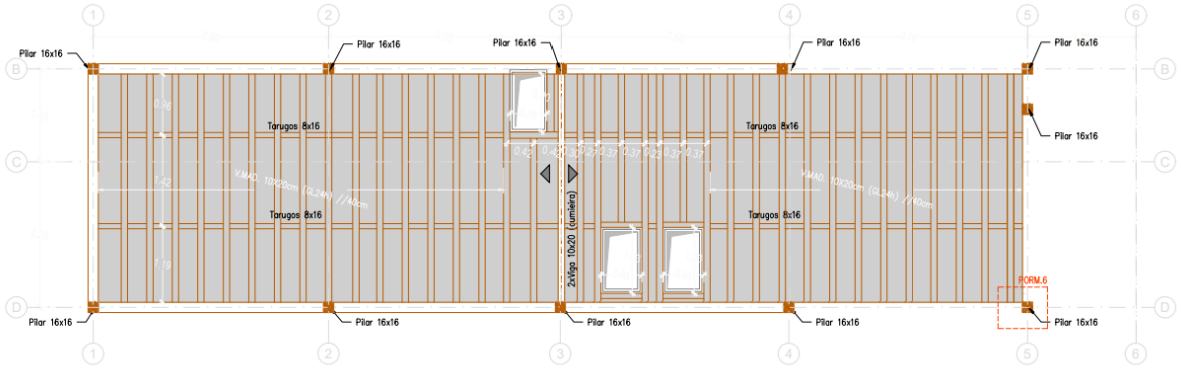


Fig.5.4 – Planta da asna da cobertura

5.2.2. MODELO ROBOT

O segundo documento pelo qual o autor se baseou foi o modelo virtual Robot Structural Analysis da Autodesk, que é um software de análise de elementos finitos direcionado para a engenharia que realiza uma solução de análise estrutural que permite modelar, analisar e projetar diversos materiais, como por exemplo, estruturas de aço, betão armado e neste caso madeira lamelada colada GL24h [28]. O arquivo também foi disponibilizado pela Cerne Projeto e Consultoria e realizado pelos engenheiros da mesma para verificação da estabilidade estrutural da moradia a construir.

Nesse caso o autor utilizou o documento Robot fornecido apenas para verificar a semelhança do seu modelo 3D e para ratificar os seus cálculos de estabilidade estrutural de acordo com o Eurocódigo 5 parte 1-1 de alguns elementos do projeto que são apresentados no capítulo 6.

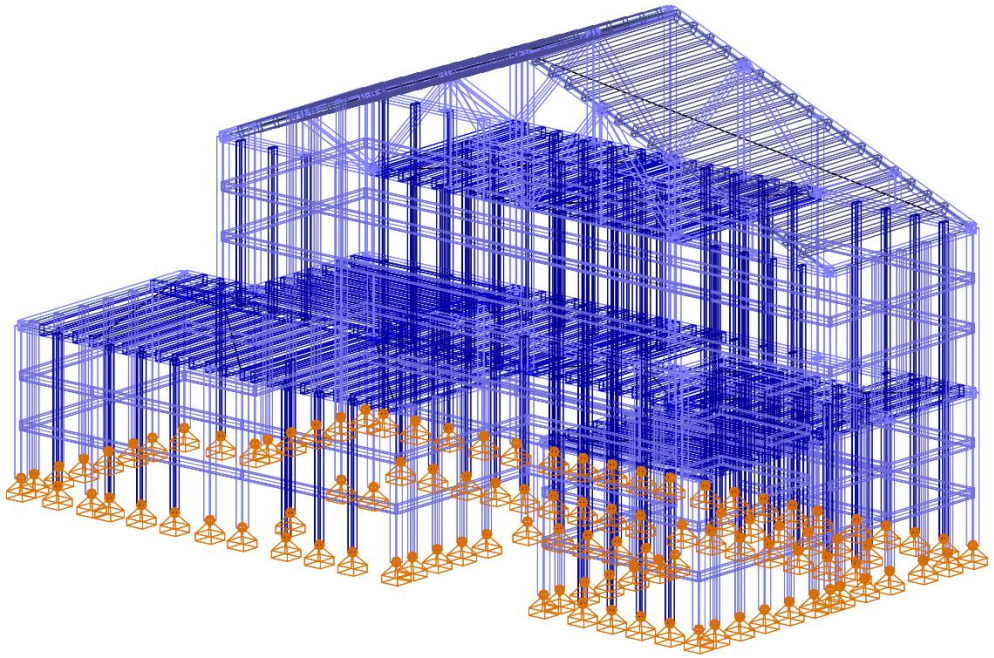


Fig.5.5 – Modelo estrutural Robot 3D

5.3. MODELO REVIT

Então, com o conhecimento das plantas dos pisos em AutoCAD e com uma breve noção de como seria a visualização final do modelo 3D, a partir do modelo estrutural em Robot, o autor passou a desenvolver desde a raiz a sua amostra da moradia em 3D no software Revit. É importante ressaltar que foi excluída a modelação das fundações e de toda a subestrutura no presente estudo da dissertação, sendo considerada apenas a parte da superestrutura acima do solo. A moradia, portanto, começou a ser modelada da seguinte forma:

- Logo no primeiro momento foram extraídas, a partir das plantas, as medidas da casa e as linhas de nível, de forma a ser facilitada a colocação de sapatas fictícias (de forma a auxiliar a visualização e a modelação) e os pilares principais, com a medida de 16x16cm, da moradia em madeira lamelada colada GL24h (fig. 5.6 e fig. 5.7);
- De seguida passaram a ser modeladas algumas das vigas da estrutura, com a dimensão de 16x8cm, que fazem a ligação entre os pilares e que na fachada deixam um vão para futura aplicação de painéis pré-fabricados (fig. 5.8);

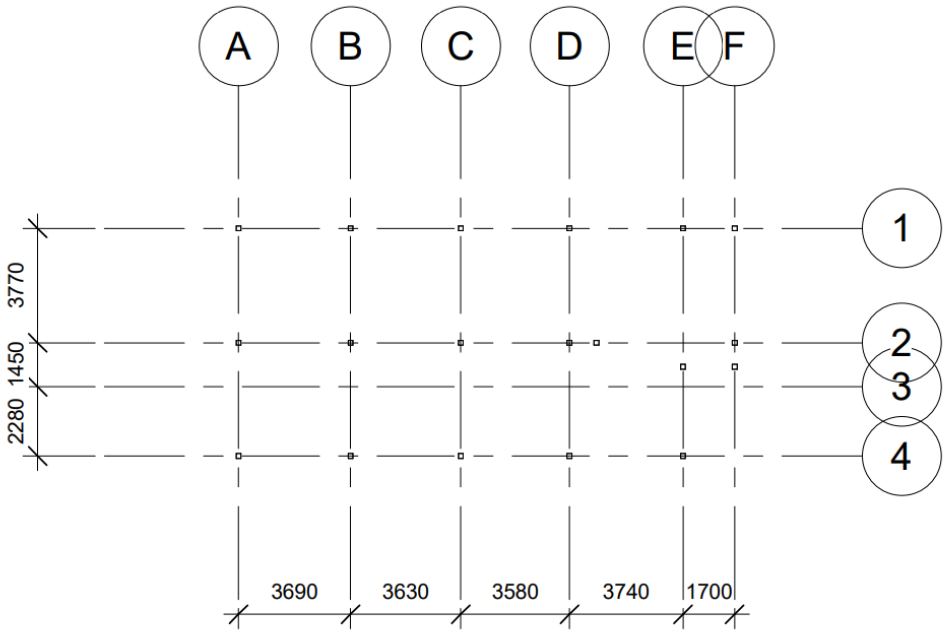


Fig.5.6 – Linhas de nível, grades e dimensões da moradia

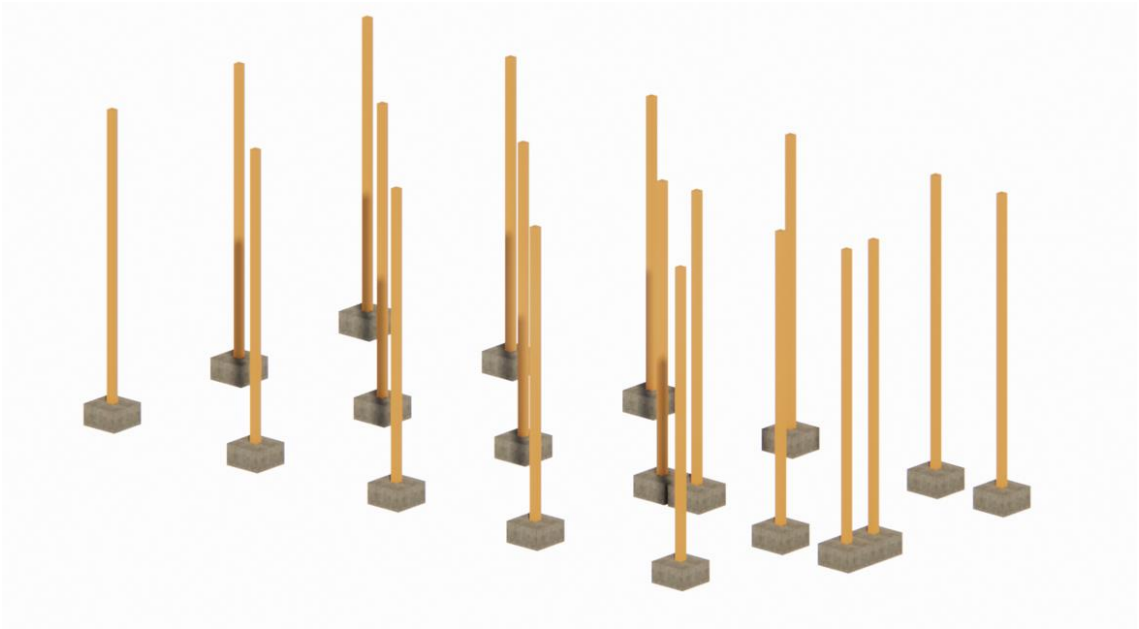


Fig.5.7 – Sapatas fictícias e pilares principais,

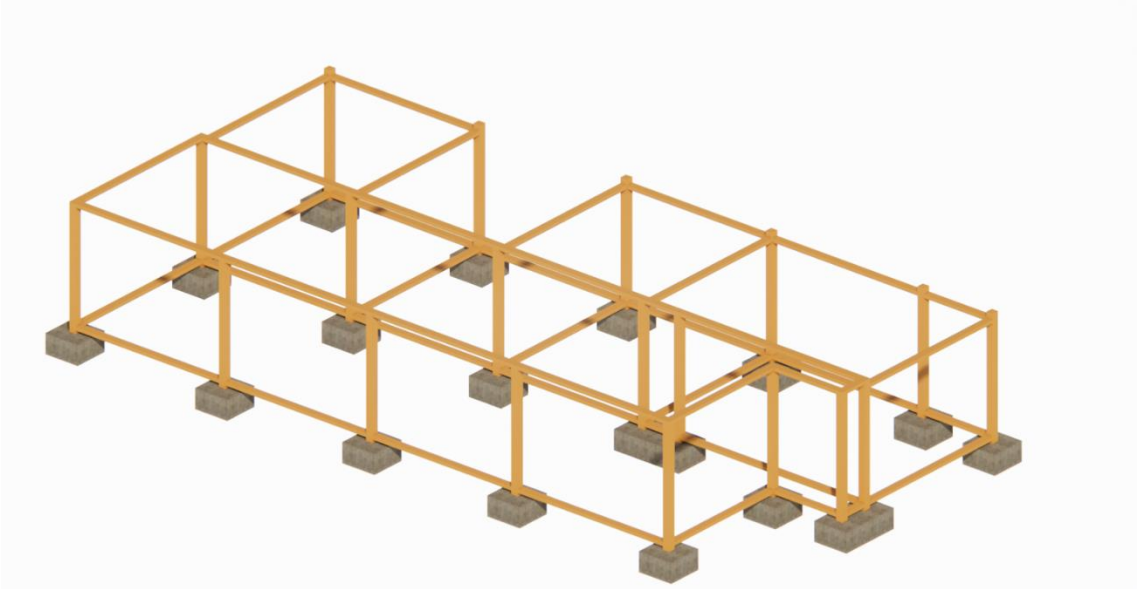


Fig.5.8 – Vigas de madeira,

Como é possível verificar na fig. 5.8, foram adicionadas vigas de madeira lamelada colada de modo a formar vãos para a posterior colocação dos painéis.

Na fase seguinte da modelação, foi realizado o pavimento do piso superior (soalho), com a adição de vigas de 10x20cm e as respetivas ligações transversais de 8x16cm (tarugos), entre as vigas, de modo a evitar a deformação das mesmas normalizando as tensões. Em algumas regiões periféricas da moradia foram adicionadas vigas duplas de 8x20cm sem função estrutural específica. Para além disso, foi modelado o piso do pavimento 0 também em madeira lamelada colada, ver fig. 5.10.

Vale a pena ressaltar ainda a presença da viga principal da moradia assinalada com a linha vermelha na fig. 5.9. Com as dimensões de 14x32cm a viga vai de um extremo ao extremo oposto da moradia, recebendo as cargas da cobertura e do piso 1, sendo a viga mais crucial e que mais recebe influência de cargas e esforços;

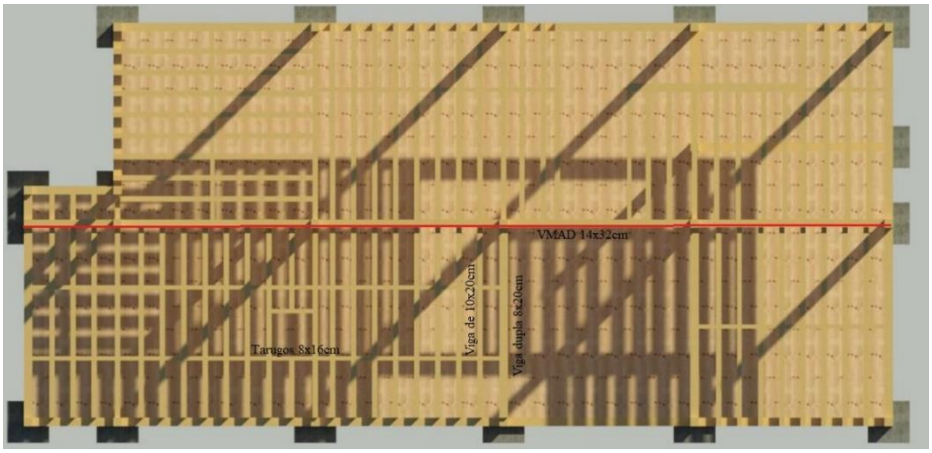


Fig.5.9 – Viga central



Fig.5.10 – Vigas e tarugos do piso 1 e pavimento do piso 0

A seguir foi realizado o teto do piso 1 com o mesmo procedimento dos anteriores, tendo como base a planta do teto do piso 1 em AutoCAD. Foram utilizadas as mesmas vigas de 10x20cm e os respetivos tarugos de 8x16cm e nas zonas periféricas as vigas duplas de 8x20cm. Além disso, foi realizada a modelação das paredes estruturais interiores da moradia em MLC (GL24h) que fazem a separação de espaços interiores e acompanham a escada que liga o piso 0 ao piso 1, ver fig. 5.11;

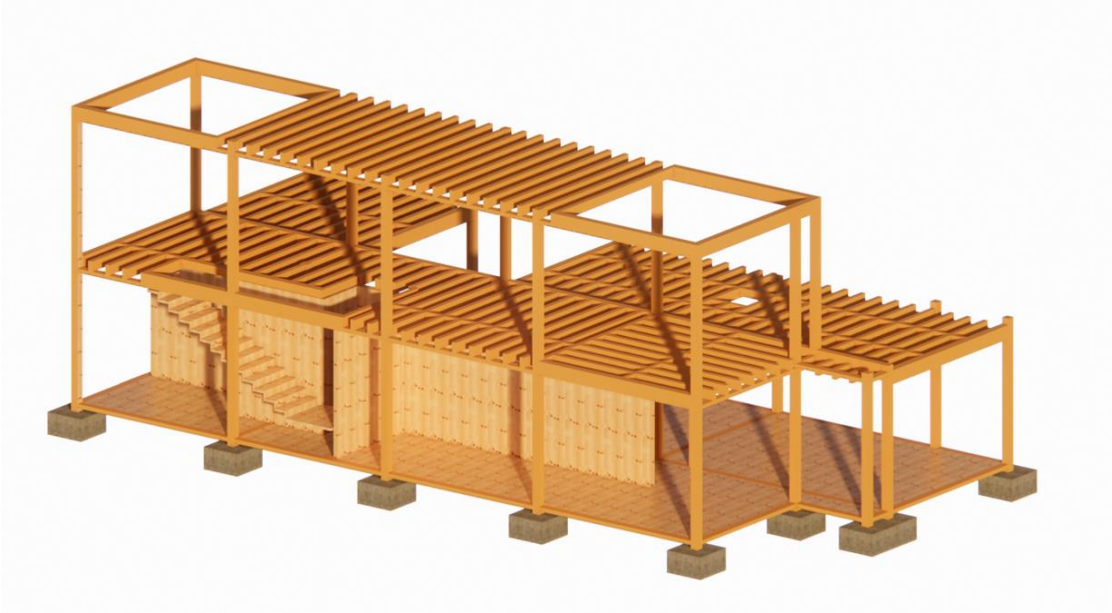


Fig.5.11 – Teto do piso 1, escada e paredes estruturais do piso 0,

Logo após foi realizada a modelação da cobertura, sendo escolhidas asnas correntes como elemento principal do sistema estrutural.

Pode-se dizer que a utilização da técnica construtiva das asnas é muito antiga e baseada em métodos romanos do século IV. Até o século XIX era atribuída às asnas de madeira a designação de vigas de suporte ou estruturas reticuladas, em que a linha estava sujeita a esforços de flexão. Só apenas após essa altura é que as asnas passaram a ser desenhadas de forma que os esforços axiais fossem os mais relevantes. Tal acontecimento foi alcançado destacando o pendural da linha, de forma que estes, na nova configuração, encontrassem-se apenas encostados, [29].

Atualmente são utilizados diversos tipos de asnas conforme os esforços e o vão que se pretende vencer. Por isso, foi escolhida por parte do arquiteto e do engenheiro uma asna composta para que fosse possível vencer um vão de aproximadamente 15 metros e assim realizar a parte estrutural da cobertura da moradia, sem apoios intermédios.

As asnas compostas surgiram a partir da necessidade de vencer maiores vãos os quais as asnas simples não conseguiam vencer. Dessa forma, ao serem incluídas mais escoras é permitida a utilização de pernas com maiores comprimentos e, ao existirem mais elementos comprimidos (escoras), é necessária a introdução de elementos (tirantes) para resistirem à componente de tração que surge da ligação escora-linha.

Para assegurar a resistência à componente vertical da força de compressão é necessária a implementação de um pendural que ligue a perna à linha da asna, mas sem ligação fixa. Ao garantir um espaçamento entre a linha da asna e o pendural, mas ao mesmo tempo sustentando a linha através de um ligador metálico a funcionar à tração, é reduzido o esforço de flexão na linha e por consequência o valor da flecha final [30], [31];

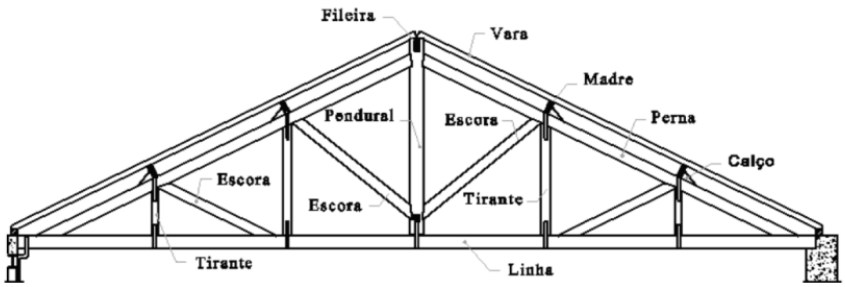


Fig.5.12 – Exemplo de asna composta, [32]

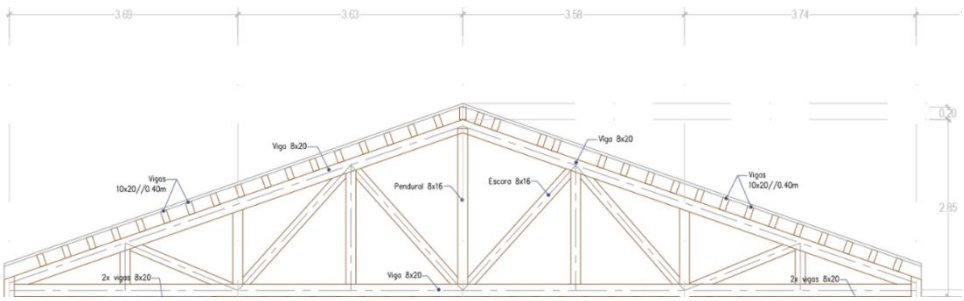


Fig.5.13 – Asna composta adotada para a moradia em AutoCAD,



Fig.5.14 – Asna composta adotada para a moradia em Revit,



Fig.5.15 – Asna composta adotada para a moradia em Revit

Após todos os passos anteriores foi alcançado o ponto em que praticamente toda a parte estrutural da moradia estava completa, faltando apenas os painéis pré-fabricados a aplicar nas fachadas.

É possível dizer que os painéis estruturais pré-fabricados da fachada, assim como todos os materiais anteriormente abordados (vigas, pilares, tarugos, componentes da asna, etc), também fabricados fora da obra, tornam a construção muito mais sustentável, barata e eficiente. Acaba por ser uma empreitada realizada em curto prazo, com um custo de obra e manutenção reduzidos, bem como o desperdício dos materiais utilizados pelo fato de não necessitarem de acabamentos posteriores.

Portanto, chegou-se ao ponto onde o autor, na sua modelação 3D, passou a abordar os painéis pré-fabricados em madeira laminada colada. Foi proposto que o autor auxiliasse a Cerne Projeto e

Consultoria na modelação dos painéis em Revit de forma que a sua aplicação na maqueta 3D fosse automática. Com o recurso da planta e das dimensões em AutoCAD, o autor passou a estudar a melhor forma de realizar o que lhe foi pedido.

Com seis tipos de painéis diferentes a serem aplicados na fachada da moradia, com alturas e estruturas diferentes dependendo do piso e o local onde fossem aplicados, percebeu-se que era inviável modelar os painéis peça por peça no Revit, pois além do tempo que seria necessário, o objetivo da automatização (ver fig.5.16) da modelação dos painéis não seria cumprido.

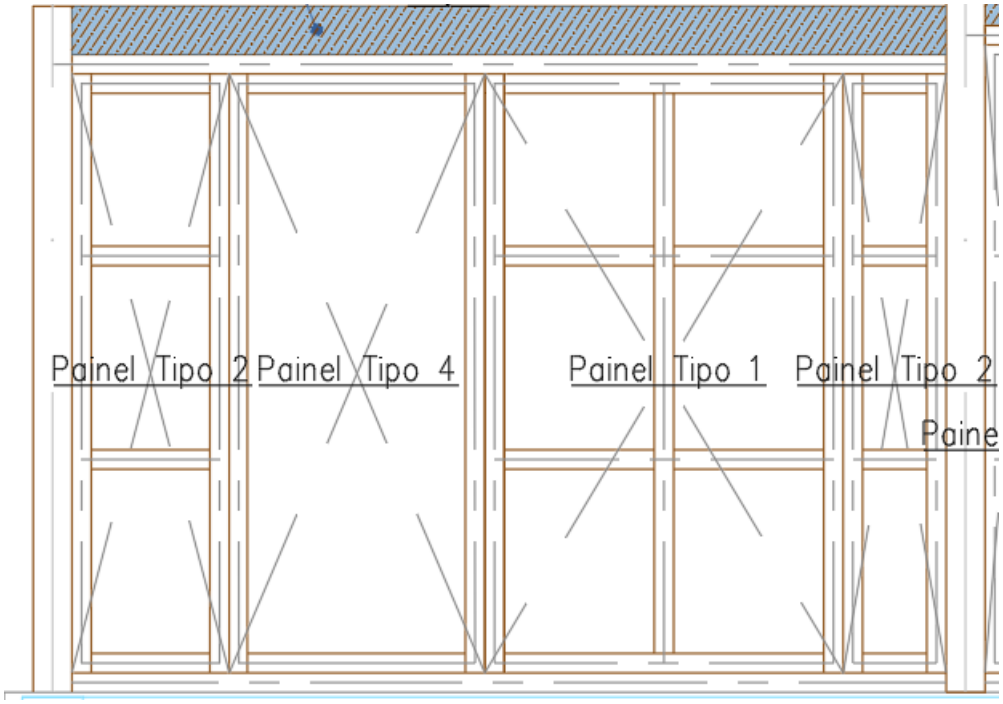


Fig.5.16 – Painel Tipo 1, Tipo 2 e Tipo 4 - alguns dos 6 tipos de painéis

A finalidade era criar um "Painel Tipo Base" que fosse adicionado ao programa e que dependendo de qual painel fosse preciso aplicar, independentemente do seu tipo, ao aceder às configurações do "Painel Tipo Base" bastasse apenas alterar as suas dimensões para que o painel desejado aparecesse automaticamente configurado. Portanto, através da ferramenta de criação livre de componentes do Revit, começou a ser desenvolvida uma nova família de elementos (painel tipo), dentro do modelo de "colunas estruturais métricas" de forma a criar o "Painel Tipo Base" desejado.

Seguiram-se os seguintes passos (ver fig.5.17):

1. Abrir o software Revit;
2. Ir para "famílias";

3. “Novo”;
4. Bibliotecas > Portuguese;
5. Coluna estrutural métrica;
6. Abrir.

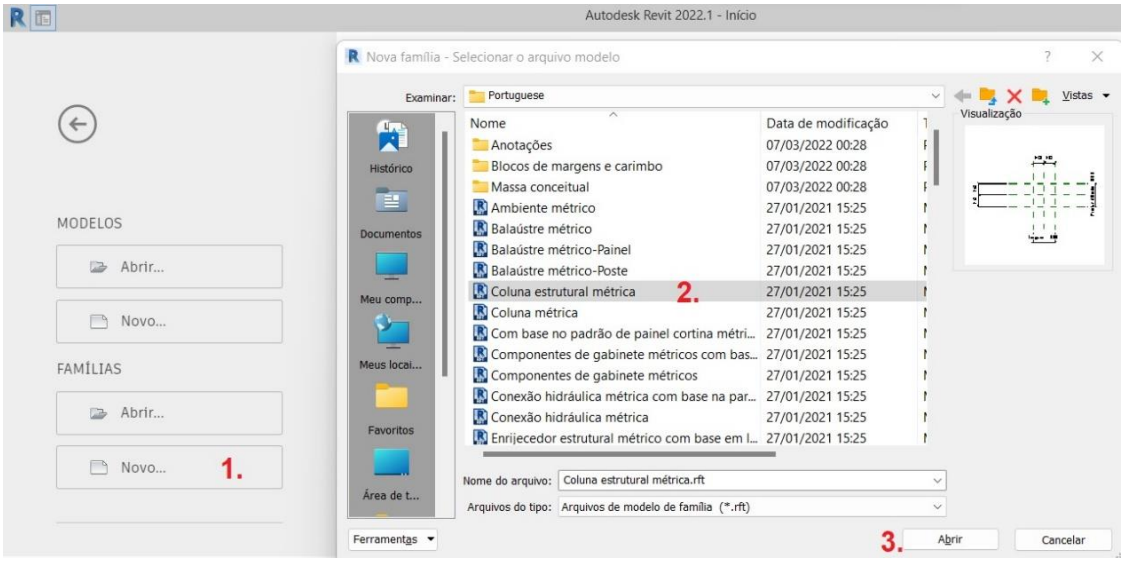


Fig.5.17 –Criando família no Revit, []

Com a seguinte disposição (fig. 5.18) padrão para criação de famílias de colunas estruturais métricas, procedeu-se à modelação do painel.

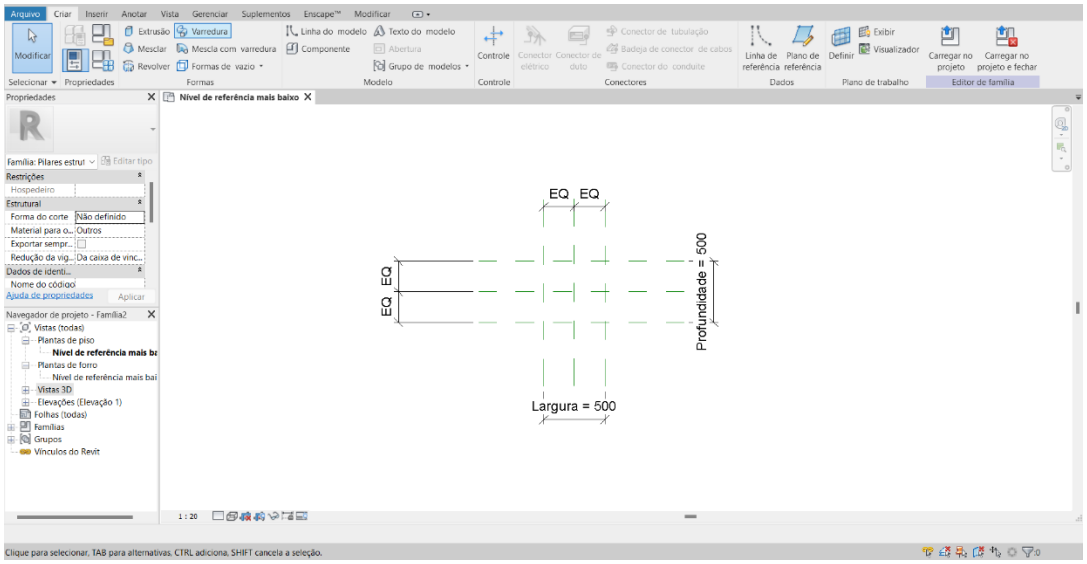


Fig.5.18 –Disposição padrão para criação de famílias de colunas estruturais métricas,

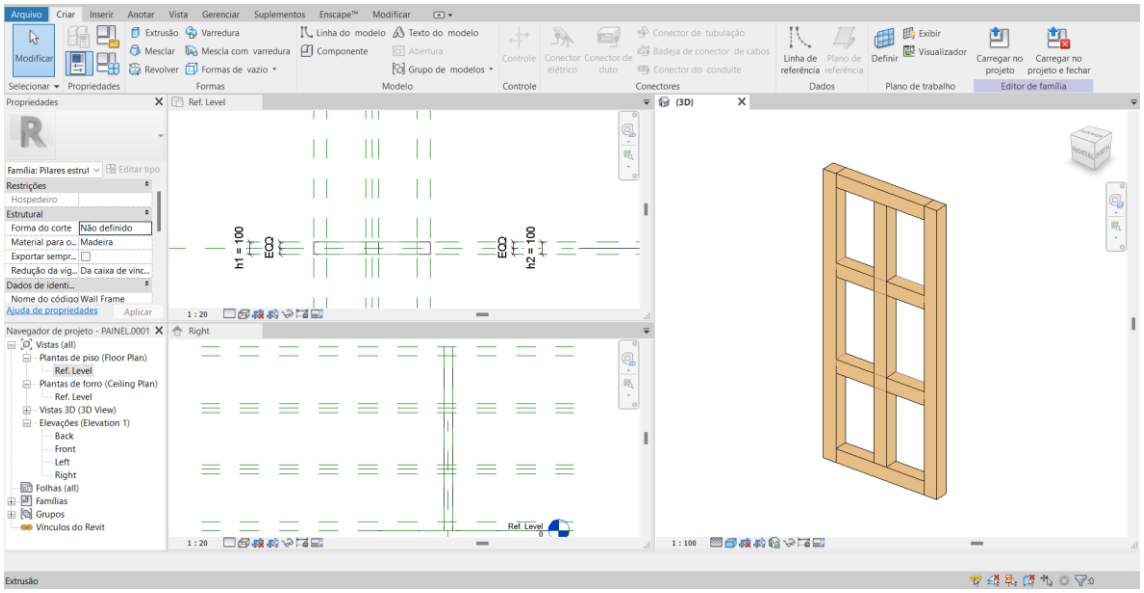


Fig.5.19 – Configuração final do Painel Tipo Base,

Foi desenvolvido e finalizado o painel base que foi estendido para todos os outros e que posteriormente foi carregado e importado para o projeto. Todas as componentes do painel foram identificadas com um nome para que fosse mais fácil a modificação automática do mesmo dentro do projeto.

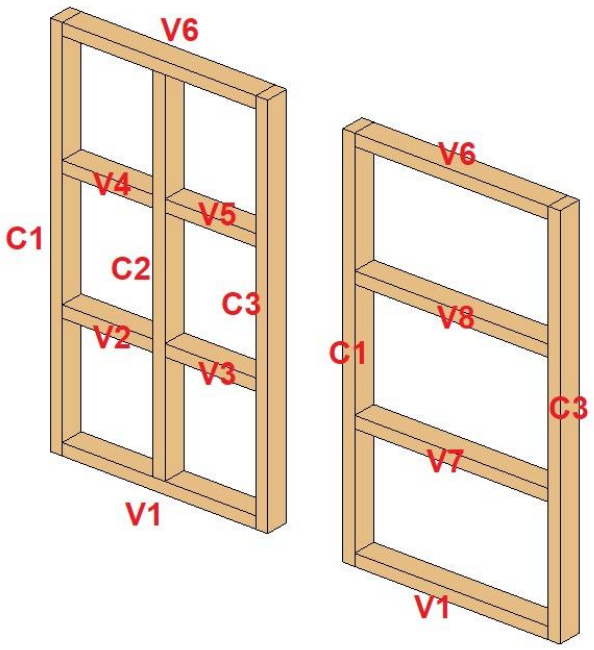


Fig.5.20 –Identificação do Painel

Para exemplificar na prática a automatização dos painéis, foram reproduzidos os painéis da figura 5.16. Para tal reprodução, foi carregado o painel base no projeto e feito o acesso às suas configurações para ajustar as suas definições e modelar respetivamente os painéis tipo 2, tipo 4, tipo 1 e tipo 2, tal como representado na figura 5.16. Foi então inserido na aba de estruturas, colunas e aplicado no local desejado.

O painel base ao ser inserido/carregado no projeto vinha com as seguintes propriedades na aba de "visibilidade" e foi logo designado como "painel 1":

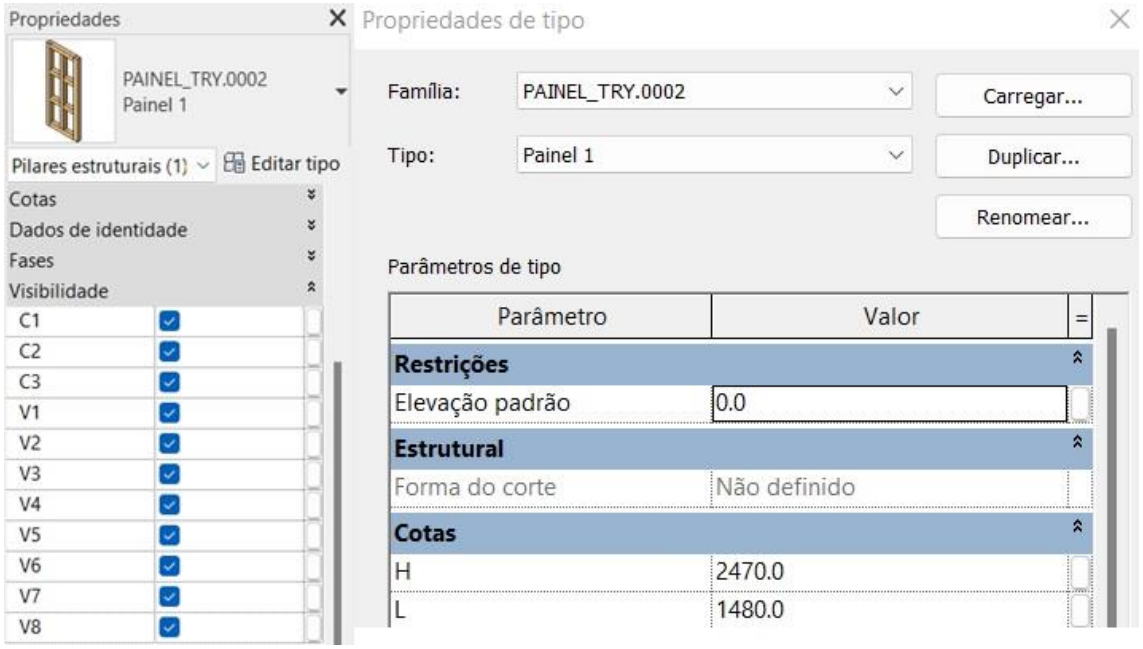


Fig.5.21 – Propriedades do painel e a visibilidade das suas componentes

Como pode ser visto na figura 5.21, o painel base vinha com todas as suas componentes com a visibilidade ativada sendo a sua configuração igual à do painel 1 do projeto. Por isso, ao ser inserido na maqueta 3D, o painel base passou a ser o painel 1.

Para criar o painel 2 e o painel 4, foi apenas necessário alterar as dimensões para as desejadas e desativar a visibilidade das componentes que não fizessem parte do painel pretendido.

Então, reproduzindo os painéis da figura 5.16 no modelo 3D, foi encontrada uma disposição de acordo com a figura 5.22 e, para exemplificar, na figura 5.23 é possível ver as respetivas abas de propriedade de cada painel criado neste projeto.

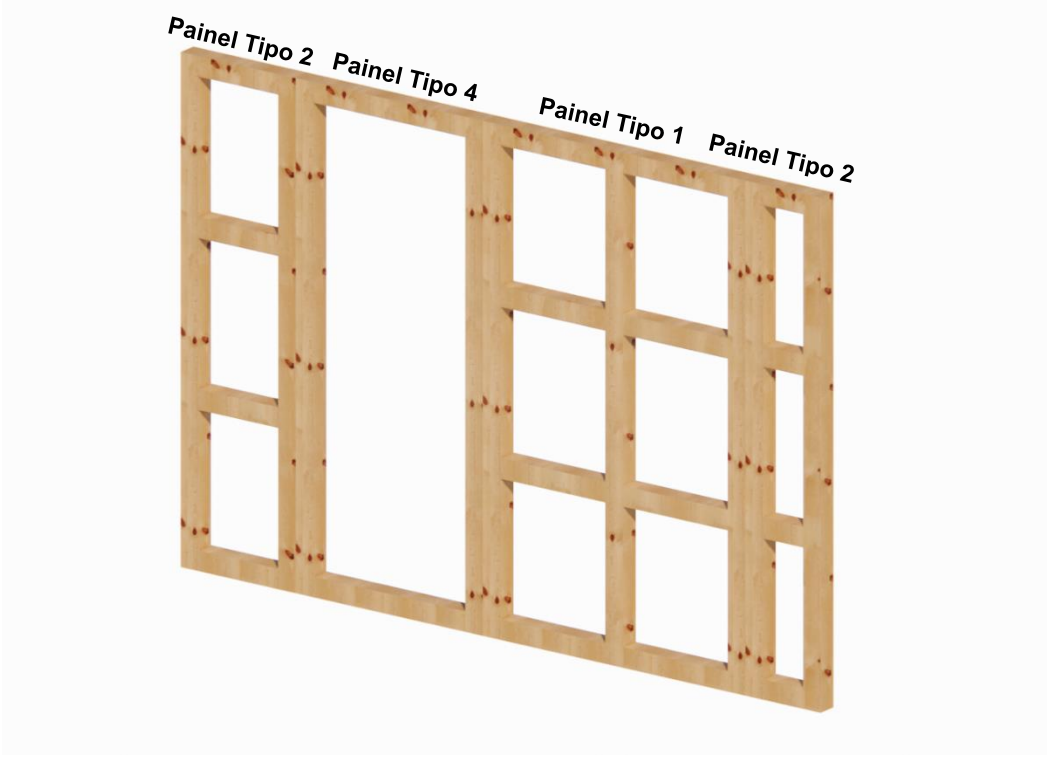


Fig.5.22 – Reprodução dos painéis da figura 5.16 em 3D

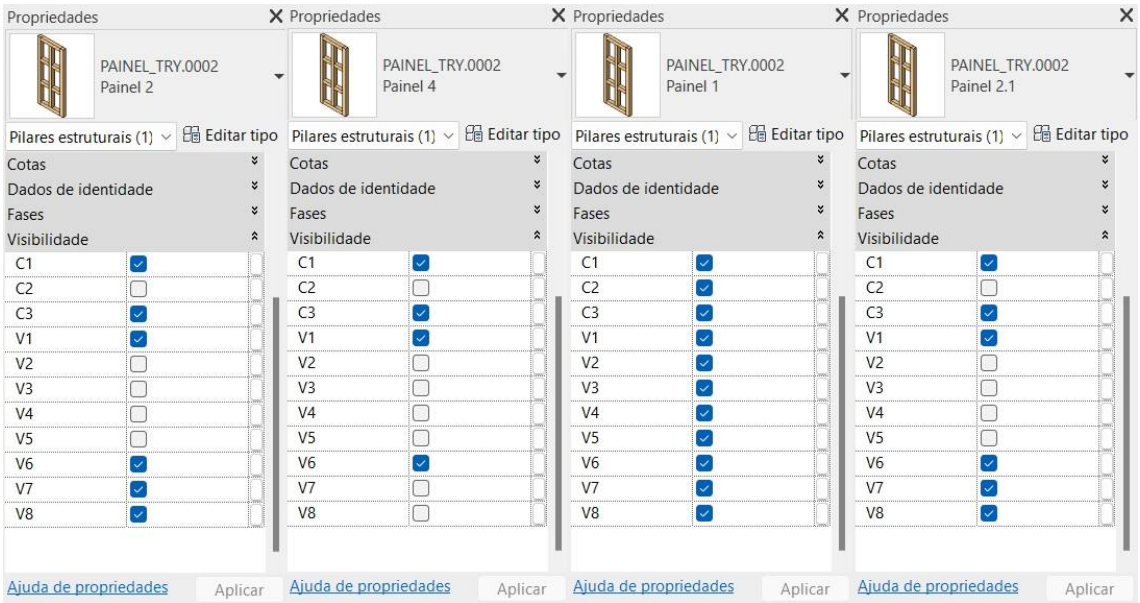


Fig.5.23 – Respetivas abas de propriedade e visibilidade dos painéis

Após contextualizar o leitor a respeito do processo de modelação e automatização dos painéis, é possível demonstrar agora a sua respetiva aplicação na maqueta 3D e a disposição que a mesma tomou.

Os painéis começaram a ser aplicados a partir da vista Sul (ver figuras 5.24 e 5.25) e a partir do primeiro piso da moradia, vindo a seguir os lados Leste, Oeste e finalmente o lado Norte, que vem a ser a orientação da entrada da casa. O mesmo processo foi reproduzido no segundo piso.

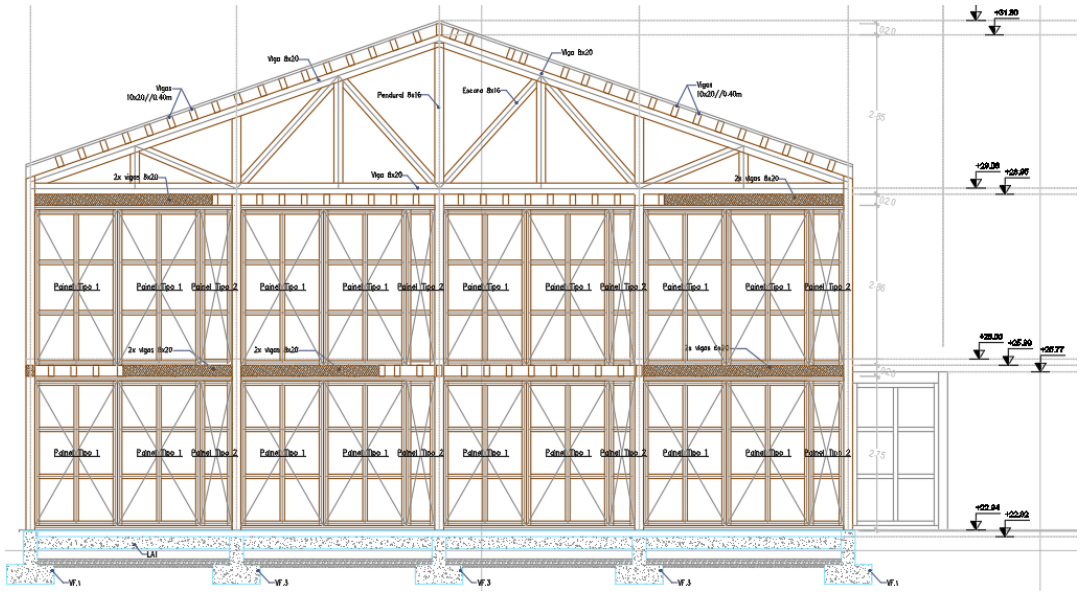


Fig.5.24 – Vista Sul da moradia e respetivos painéis

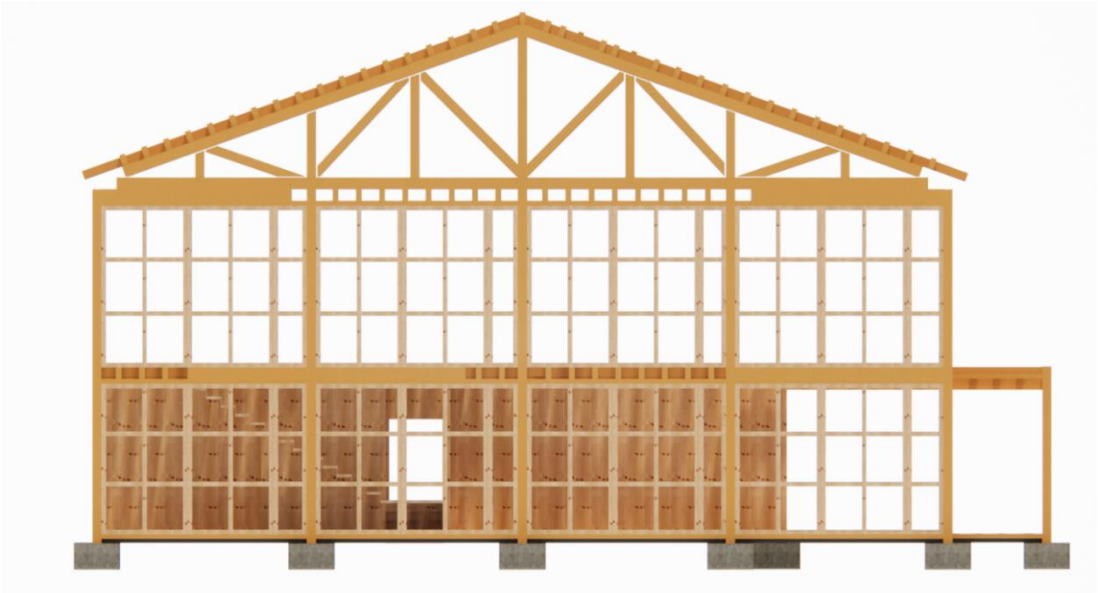


Fig.5.25 – Vista Sul da moradia e respetivos painéis em Revit

Seguindo o processo de aplicação dos painéis foi finalizada a modelação 3D da moradia. De forma a realizar uma visualização completa, profissional e com definições mais avançadas, prosseguiu-se a renderização (processo pelo qual se obtém o produto final de um processamento digital qualquer [33]) do projeto através do plugin Enscape.

O Enscape é um plugin de renderização em tempo real e de realidade virtual, que foi desenvolvido e pertence à Enscape GmbH.

Desse modo, foi possível chegar ao resultado final abaixo apresentado nas figuras 5.26 e 5.27 e concluir a modelação 3D estrutural da moradia em Revit.



Fig.5.26 – Vista Norte da moradia através do Render Enscape



Fig.5.27 – Vista Sul da moradia através do Render Enscape

5.4. OUTROS RESULTADOS

Como dito anteriormente, o software Revit de modelção 3D é uma ferramenta muito completa, sendo possível, após a finalização da maqueta da moradia e a sua respeciva versão final apresentada através do plugin Enscape, ter acesso a diversos outros resultados e informações sobre o projeto em forma de tabelas e gráficos como por exemplo, o número de colunas estruturais e vigas presentes no modelo assim como as suas áreas, volumes, a família e tipos a que pertencem e também permite realizar uma estimativa de custos totais do projeto. Foram extraídos esses resultados e informações com exceção da estimativa de custos.

Foram criadas duas tabelas inseridas em anexo, sendo a primeira denominada de "Structural Columns" que se dirige aos pilares e painéis que estão englobados na família de colunas da maqueta. Nessa primeira tabela é possível verificar a família e o tipo de cada peça, o seu nome, área e volume respectivamente. Por meio dessa tabela verificou-se a existência de 105 peças de madeira lamelada colada GL24h (pilares + painéis).

Tabela 5.1 – Exemplo de troço da tabela "Structural Columns" inserida em anexo

Structural Column (*Pilares e Painéis*)

Family and Type	Material: Name	Material: Area	Material: Volume	Count
M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
PAINEL: PAINEL 2 SOUTH	C18	3 m²	0.09 m³	1
PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 2	C18	3 m²	0.08 m³	1

A segunda tabela (Tabela 5.2) tem o nome de "Structural Framing" e refere-se às vigas e tarugos presentes na maqueta 3D e apresenta, assim como na primeira tabela, a família e o tipo de cada peça, o seu nome, área e volume respetivamente. Verificou-se a existência de 452 peças de madeira lamelada colada GL24h.

Tabela 5.2 – Exemplo de troço da tabela “Structural Framing”

Structural Framing (*Vigas e Tarugos*)

Family and Type	Material: Name	Material: Area	Material: Volume	Count
M_Timber: 160X80 PROJETO	Softwood, Lumber	2 m²	0.05 m³	1
M_Timber: 160X80 PROJETO	Softwood, Lumber	2 m²	0.05 m³	1
M_Timber: 80x200 DUPLA	Softwood, Lumber	2 m²	0.06 m³	1
M_Timber: 80x200 DUPLA	Softwood, Lumber	2 m²	0.06 m³	1
M_Timber: 100x200 VMAD	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
M_Timber: 100x200 VMAD	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
M_Timber: 80X160 TARUGO	Softwood, Lumber	0 m²	0.01 m³	1
M_Timber: 80X160 TARUGO	Softwood, Lumber	0 m²	0.01 m³	1
M_Timber: 140x320 viga central	Softwood, Lumber	3 m²	0.16 m³	1
M_Timber: 140x320 viga central	Softwood, Lumber	1 m²	0.03 m³	1
M_Timber: 140x320 viga central	Softwood, Lumber	4 m²	0.20 m³	1
M_Timber: REAL COBERTURA 160X160	Softwood, Lumber	2 m²	0.07 m³	1
M_Timber: 160x200 cobertura	Softwood, Lumber	10 m²	0.45 m³	1
M_Timber: 160X160 truss 2	Softwood, Lumber	2 m²	0.07 m³	1

5.5. SÍNTESE

É possível afirmar, sem dúvida nenhuma, que o software Revit e todo o conceito e sistema do Building Information Modeling – BIM que o mesmo utiliza, são de extrema importância para a área de construção nos dias atuais pelo que foi visto ao longo dos capítulos 2 e 5.

Recorrendo a tais sistemas é possível produzir uma maqueta digital da moradia que permite uma visualização mais precisa e intuitiva da construção e que constitui um suporte crucial durante toda a fase de execução da estrutura da mesma.

Para além disso, os engenheiros da Cerne Projeto e Consultoria poderão compartilhar informações em tempo real com a equipa envolvida na execução da obra e, no caso de imprevistos, realizar alterações rápidas no modelo.

No que diz respeito à execução de todas as peças e principalmente dos painéis da fachada, através do modelo 3D executado será possível uma pré-fabricação em unidade industrial muito mais precisa, proporcionando um suporte essencial para a empresa que irá realizar os painéis por meio da visualização 3D dos mesmos e da verificação de todas as suas propriedades e dimensões, fazendo com que as peças cheguem à obra com todos os acabamentos previamente realizados e levando, consequentemente a um desperdício de materiais mais reduzido.

A metodologia abordada para a modelação dos painéis poderá vir a ser uma ajuda futura para a Cerne Projeto e Consultoria, assim como a visualização 3D dos mesmos na maqueta digital poderá ser uma ajuda ao Diretor de Obra, no momento em que os painéis chegarem ao estaleiro de forma que a sua implantação seja mais precisa e rápida.

Por outro lado, as tabelas de quantidades, extraídas automaticamente do REVIT, proporcionarão um controlo muito mais detalhado do número de peças necessárias para a obra, assim como a área de implantação das mesmas.

6

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE USANDO O EC5

6.1. NOÇÕES DE SÍNTESE SOBRE MADEIRA MACIÇA ESTRUTURAL

Com vista a dimensionar uma estrutura em madeira é preciso ter em consideração o conhecimento sobre as características e propriedades dos materiais estruturais a usar. A madeira é proveniente de um organismo vivo, a árvore, e formada a partir do seu tecido. A árvore cresce no sentido vertical e diametral e todo o ano há um crescimento vertical e a criação de novas camadas que vão se sobrepondo.

Através de um corte transversal no tronco de uma árvore é possível identificar essas camadas, que se apresentam como anéis de crescimento. Cada anel é formado ainda por outras duas camadas, uma com a tonalidade mais clara (formada na primavera-verão onde acontece o crescimento rápido) e a outra com a tonalidade mais escura (formada no outono-inverno onde acontece o crescimento lento). A partir do corte transversal do tronco (ver figura 6.1) de uma árvore é possível identificar o córtex, câmbio, alburno, cerne e núcleo, sendo o alburno, ou borne, como também é denominado, a parte externa, mais jovem e com uma cor mais clara, visto que é composto por células vivas e ativas, no momento do abate da árvore, e tem a função resistente e transportadora de seiva bruta. Já o Cerne encontra-se no interior do tronco e é constituído de células mortas, no momento do abate da árvore [Cachim, 2007].

Para classificar as madeiras de acordo com a sua dureza é necessário ter em atenção a proporção entre o alburno e o cerne dentro do tronco. As madeiras macias, provenientes de árvores de crescimento rápido, são mais fáceis de manusear, entretanto apresentam menor resistência. Por outro lado, as madeiras duras, extraídas a partir de árvores de crescimento lento, têm maior

resistência. A madeira de cerne é geralmente adotada quando é procurada em simultâneo uma maior durabilidade e a resistência mecânica.

Outro ponto fundamental na caracterização das madeiras é o conhecimento dos respetivos planos fundamentais, ou melhor, os eixos principais da madeira em relação às fibras, sendo eles o eixo longitudinal, o eixo radial e o eixo tangencial (ver figura 6.2).

Por ser um material de origem natural, como foi dito anteriormente, é impossível encontrar em uma árvore dois pontos com as mesmas características. Antes de ser transformado em um material construtivo e aplicado em obra é preciso definir qual o tipo de madeira a utilizar, e uma das principais e primeiras classificações a ter em consideração é em função da estrutura anatómica da madeira, sendo dividida em dois grandes grupos botânicos, o primeiro das Gimnospérmicas (resinosas, coníferas ou madeiras brandas) e o segundo das Angiospérmicas, as folhosas (Monocotiledóneas e Dicotiledóneas) (NEGRÃO & FARIA, 2009), [13]

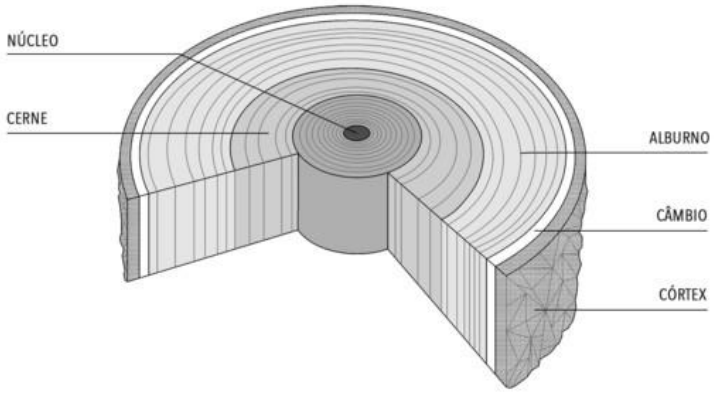


Fig.6.1 – Corte transversal do tronco de uma árvore, [34]

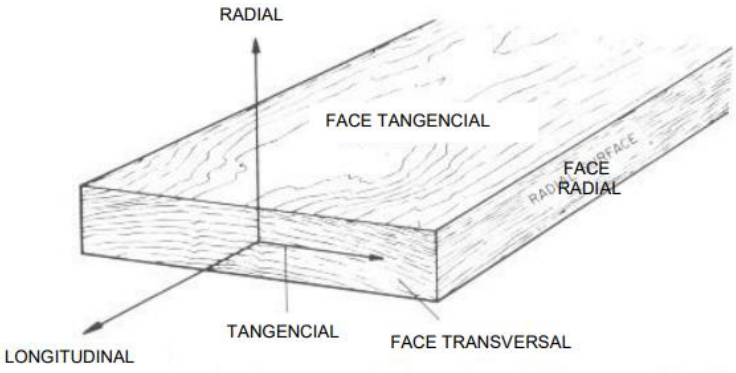


Fig.6.2 – Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras (WILCOX, 1991)

Para além disso, é importante ressaltar a composição química da madeira, sendo os principais constituintes, a celulose, a hemicelulose e a lenhina. Responsável pela higroscopicidade da madeira e por compor aproximadamente 40-50%, a celulose apresenta uma grande resistência mecânica. Já a hemicelulose tem como função unir as fibras de celulose e representa 20-30% da madeira. A lenhina serve para conferir resistência ao corte e à compressão, correspondendo a 20-30% da madeira. Por último, a madeira é preenchida com resinas, proteínas, pectinas e ceras (5-7%), (NEGRÃO & FARIA, 2009), [13].

É necessário ter conhecimento sobre as propriedades físicas da madeira pelo fato de que tais propriedades podem ter uma influência significativa no desempenho e na resistência da madeira quando utilizada estruturalmente. De todas as propriedades físicas, é possível destacar as mais relevantes e que são o teor em água e a higroscopicidade, a massa volúmica aparente, a retractilidade e a reação e resistência ao fogo.

Quanto às propriedades mecânicas da madeira, as mesmas devem ser avaliadas de forma individual e o seu comportamento avaliado de acordo com um tipo de solicitação específica, sendo possível destacar algumas propriedades principais: resistência à tração paralela às fibras, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão estática, resistência à tração perpendicular às fibras, resistência à compressão perpendicular às fibras, resistência ao corte ou escorregamento, dureza, resistência à fadiga e fluência (resistência a cargas de longa duração) (NEGRÃO & FARIA, 2009), [13]. É importante dizer que as principais características que influenciam as propriedades mecânicas são:

- Espécie Botânica;
- Localização dentro do lenho;
- Humidade;
- Massa Volúmica.

O conhecimento da espécie botânica, como dito anteriormente, é muito importante devido à grande heterogeneidade das espécies de árvores e das consequentes características das madeiras que delas resultam. Relativamente à localização dentro do lenho, as características da madeira mudam de acordo com o local de proveniência, quer a nível transversal, quer a nível longitudinal, pelo fato de que cada zona da árvore apresenta características relativamente ao tecido lenhoso.

A humidade afeta a qualidade da celulose, o que faz com que a madeira fique mais vulnerável a ataques biológicos (quanto menor for o valor da humidade mais resistente é a peça de madeira). Para finalizar, a massa volúmica é um bom indicador da qualidade da madeira sem defeitos, variando de espécie para espécie.

Devido às suas inúmeras aplicações e ao avanço tecnológico e científico, os derivados da madeira começaram a aparecer no mercado da construção. O seu surgimento permitiu a elaboração de projetos mais complexos e sustentáveis, para além de melhorar as características da madeira na perspetiva física e mecânica.

A madeira considerada na verificação da estabilidade do estudo de caso foi a Madeira Lamelada Colada, principal derivado de madeira estrutural existente, considerado no EC5, e com grande fiabilidade enquanto material estrutural.

6.2. MADEIRA LAMELADA COLADA

A madeira lamelada colada, também conhecida como *Glulam*, é um produto tecnologicamente avançado, constituído por elementos de madeira maciça lamelas, em geral de resinosas, classificadas e selecionadas e unidas por cola, com recurso a um processo de ligação longitudinal designado por "finger joint", [35].

Vigas e colunas de praticamente qualquer tamanho e forma são fabricadas através da laminação de três ou mais madeiras, secas em estufa, e unidas precisamente para formar laminações contínuas. Essas laminações são prensadas juntas através de uma prensa hidráulica e coladas com adesivos resistentes à temperatura e ao clima. O Glulam pode ser personalizado como peças retas, curvas, arqueadas, entre outras.

O seu emprego na área da construção acaba por ter muitas vantagens devido ao formato e às dimensões que as peças podem assumir, para além do seu custo moderado e por apresentar uma rigidez e resistência superior à da madeira maciça. A madeira lamelada colada tem um bom aproveitamento e exploração da madeira e, por causa das exigências de fabricação, o seu teor de água é reduzido até aproximadamente 12%, fazendo com que os riscos de danificações no material causado pelas deformações na construção e após a mesma sejam diminuídos [H. Negrão, 2004].

Devido ao seu processo complexo de produção, é evidente dizer que a sua aplicação assenta num conjunto importante de normas (normas de produção e normas de produto) de forma a garantir um bom nível de qualidade. Em Portugal seguem-se normalmente as normas europeias harmonizadas aplicáveis.

As seguintes normas referem-se às condições gerais de produção e controlo (especificam as características físicas e mecânicas dos produtos):

- NP EN 386:2001 – Madeira Lamelada Colada- Requisitos de desempenho e requisito mínimos de produção;
- NP EN 385:2001 – Madeira para estruturas com ligações de entalhes múltiplos - Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de produção;
- EN 387:2001 – *Glued Laminated timber. Large finger joints- Performance requirements and minimum product requirements.*

No que toca ao cumprimento dos requisitos é necessária a utilização da norma *EN 14080:2013 – Timber Structures – Glued Laminated Timber – requirements.*

No âmbito nacional, os projetistas para efeito de determinação dos valores a usar nos cálculos estruturais podem recorrer à norma NP EN 1194:2003 – Estruturas de Madeira – Madeira Lamelada Colada – Classe de resistência e determinação dos valores característicos. Nesta norma é possível identificar dois tipos de Glulam, uma constituída por lamelas da mesma classe de resistência e espécie botânica (madeira lamelada colada homogénea) e outra constituída com lamelas interiores e exteriores de diferentes classes de resistência e espécie (madeira lamelada colada combinada). As lamelas exteriores têm uma classe de resistência superior [NEGRÃO & FARIA, 2009].

As propriedades físicas e mecânicas da madeira lamelada colada são apresentadas no capítulo 3, de acordo com a NP EN 1194:2003.



Fig.6.3 – Madeira Lamelada Colada, [36]

6.3. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DE UM PILAR E UMA VIGA

Juntamente com a modelação da estrutura em Autodesk Revit, como foi visto no capítulo anterior, foi realizada também uma verificação de estabilidade de um pilar e de uma viga da estrutura da moradia, bem como de uma asna de cobertura. Para tal verificação foram utilizadas as características da GL24h como descrito no projeto arquitetónico e foram tidas em consideração as combinações de ações adequadas para cada caso. O cálculo foi realizado de acordo com as normas do Eurocódigo 5 (EN 1995), baseado no conceito dos estados limites, com coeficientes parciais de segurança. Apenas se fez a verificação aos estados limites últimos de resistência.

6.3.1. VERIFICAÇÃO DE ESTABILIDADE DO PILAR

O pilar escolhido para a verificação está representado na figura 6.4.

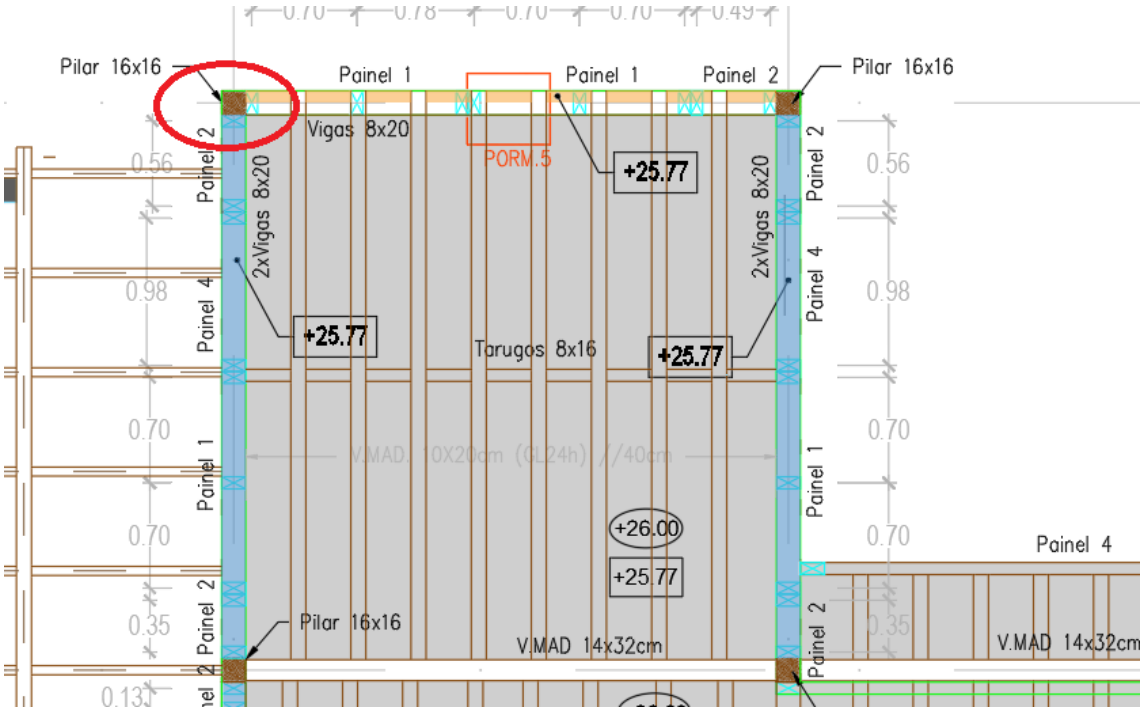


Fig.6.4 – Pilar escolhido para a verificação de estabilidade

Foram considerados os seguintes dados:

- Altura do pilar: 2.83m;
- Secção 16x16 cm^2;
- Madeira Lamelada Colada GL24h;
- Peso do Soalho fornecido pela Cerne Projeto e Consultoria = 2.18 KN/m^2. Este valor é muito elevado!

A ação gravítica permanente devida ao soalho foi calculada de acordo com as áreas de influência tendo como resultado:

$$\frac{2{,}18KN}{m^2} \cdot 1{,}845m \cdot 1{,}885m = 7{,}582KN \quad (6.1)$$

O peso próprio do pilar foi calculado de acordo com:

$$\left[\frac{(16cm*16cm)*380Kg}{m^3}\right] * 2{,}83m = 0{,}275KN \quad (6.2)$$

O valor da ação devida à sobrecarga considerada para o dimensionamento e fornecida pela Cerne foi de 2KN/m^2 e foi calculada através das áreas de influência tendo como resultado:

$$\frac{2KN}{m^2} * 1{,}845m * 1{,}885m = 6{,}96\ KN \quad (6.3)$$

Portanto, para o cálculo das ações e combinações de ações, foram utilizados os seguintes valores:

- Carga Permanente = 0,275KN + 7,582KN = 7,857 KN;
- Sobrecarga = 6,96 KN;
- Vento: a ação do vento foi calculada de acordo com o Eurocódigo 1 – Ações em Estrutura, parte 1-4: Ações Gerais – Ações do Vento.

Portanto, a seguir é demonstrado o processo de calculo da ação do vento para a utilização do mesmo na combinação de ações. A ação do vento varia em função do tempo e pode atuar sobre as superfícies exteriores das construções, sob a forma de pressão, assim como sobre as superfícies interiores em construções abertas ou devido à permeabilidade da superfície. Das pressões que atuam sobre elementos da superfície resultam forças perpendiculares à superfície da construção ou dos elementos de revestimento individuais.

- Valores de referência
  O valor de referência da velocidade do vento pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (6.4)$$

em que,

$v_{b,0}$– é o valor básico da velocidade de referência do vento;

c_{dir}- é o coeficiente de direção;

c_{season}– é o coeficiente de "estação do ano".

O valor recomendado para $cdir\ e\ cseason$ é 1,0, de acordo com as notas da alínea 4.2 do EC1 – 4, e o valor de *vb,0*, valor básico da velocidade de referência do vento, de acordo com o Anexo Nacional do EC1-3 é 27m/s, devido à moradia estar inserida na Zona A (altitude inferior a 600m).

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

Fig.6.5 – Valor básico da velocidade de referência do vento, []

Portanto,

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27\,[m/s] \quad (6.5)$$

- Vento Médio

A velocidade do vento médio, v_m (z), depende da altitude z acima do solo, da rugosidade do terreno, c_r (z), da ortografia c_0(z) e do valor de referência, v_b.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (6.6)$$

Considera-se $c_0(z)$ igual a 1.

Para calcular a rugosidade do terreno, $c_r(z)$, é preciso obter os valores de z_{min}e z_{max}. Para obter tais valores é preciso consultar o Anexo Nacional para ver em que tipo de zona se encontra a moradia. Através da consulta da tabela da figura 6.6, é possível concluir que a moradia se encontra na zona II.

Categoria de terreno		z_0 [m]	z_{min} [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15
NOTA 1: *As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.*			
NOTA 2: *O coeficiente de rugosidade, $c_r(z)$, é ilustrado na Figura NA.1.*			

Fig.6.6 –Categoria de terreno e respetivos parâmetros

Como a altura do pilar está compreendida entre $z_{min} \leq 2{,}83$ (altura do pilar) $\leq z_{max}$ (a ser considerada igual a 200m), logo, será utilizada a seguinte expressão:

$$c_r(z) = k_r \cdot ln\frac{z}{z_0}\,, para\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (6.7)$$

É necessário o cálculo do coeficiente do terreno, k_r, que é dado pela seguinte expressão:

$$k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}05}{0{,}05}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \quad (6.8)$$

Com $z_{0,II}$= 0,05m e z = 2,83 (altura do pilar), obtemos:

$$c_r(z) = 0{,}19 \cdot ln\frac{2{,}83}{0{,}05} = 0{,}77 \quad (6.9)$$

Chegando finalmente a,

$$v_m = 0{,}77 \cdot 1 \cdot 27 = 20{,}79\ [m/s] \quad (6.10)$$

- Turbulência do Vento

A intensidade de turbulência à altura z, $I_v(z)$, é definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)}, para\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (6.11)$$

O valor do desvio padrão da turbulência, σ_v, poderá ser determinado através da seguinte expressão, considerando o valor de k_1 igual a 1:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_1 = 0{,}19 \cdot 27 \cdot 1 = 5{,}13\ [m/s] \quad (6.12)$$

Sendo assim,

$$I_v(z) = \frac{5{,}13}{20{,}79} = 0{,}246 \quad (6.13)$$

- Pressão Dinâmica de Pico

Proveniente da velocidade média e das flutuações de curta duração da velocidade do vento. O cálculo pode ser resolvido através de dois métodos.

O primeiro método desenvolve-se da seguinte forma:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (6.14)$$

Para o segundo método:

$$q_p(z) = \ c_e(z) \cdot q_b = c_e(z) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z) \tag{6.15}$$

Entretanto optou-se pelo primeiro método, sendo o valor da massa volúmica do ar, $\rho = 1{,}25\ [kg/m^3]$, chegando assim ao seguinte resultado:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0{,}246] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 20{,}79^2 = \ 735.321\ [N/m^2] \tag{6.16}$$

Portanto, multiplicando a pressão dinâmica de pico do vento pela área de influência do vento no pilar, chega-se ao seguinte resultado:

- Ação do vento = $0{,}74 \cdot 1{,}885m = 1{,}4KN/m$

Prosseguindo com a verificação de estabilidade do pilar, calcula-se a combinação de ações:

$$1{,}35 \cdot 7{,}857 + 1{,}5 \cdot 6{,}96 = 21{,}05KN \tag{6.17}$$

Logo,

- G_d (Cargas permanentes) = 21,05 KN;
- Q_d (Cargas de curta duração) = 1,4 KN/m.

A figura 6.7 a seguir esquematiza as ações calculadas.

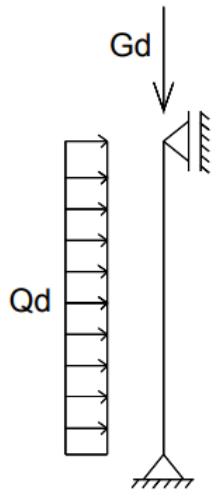


Fig.6.7 – Esboço de aplicação das cargas no pilar

Considerando uma classe de serviço 2 e uma atuação de curta duração para o vento, de acordo com a tabela 3.1 do EC5 para Madeiras Lameladas Coladas, chega-se ao resultado de k_{mod} = 0,9 e, para as cargas permanentes de classe de serviço 2, encontra-se um k_{mod} = 0,6.

Realiza-se o seguinte processo:

- Tensões atuantes de cálculo

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{sd}}{A} = \frac{0{,}02105}{0{,}0256} = 0{,}822MPa \quad (6.18)$$

E, considerando o comprimento do pilar, *l*, igual a 2,83m, chega-se ao seguinte momento atuante de cálculo:

$$M_{sd} = 1{,}4 \cdot \frac{l^2}{8} = 1{,}4015KN/m \quad (6.19)$$

Logo,

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{sd}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 1{,}402}{0{,}16 \cdot 0{,}16^2} = 2{,}053MPa \quad (6.20)$$

Em que,
N_{sd} – é a carga axial permanente aplicada no pilar;
A – Área da secção do pilar 16x16cm;
b – Base da secção;
h – Altura da secção;
M_{sd} –Momento gerado pela ação da carga de curta duração ao longo do pilar.

- Tensões Resistentes de Cálculo
Com γ_M igual a 1,25 por se tratar de uma madeira lamelada colada, de acordo com a tabela 2.3 do EC5,

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}6 \cdot 24}{1{,}25} = 11{,}52MPa \quad (6.21)$$

E

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}9 \cdot 24}{1{,}25} = 17{,}28MPa \quad (6.22)$$

Em que,
k_{mod} - fator de modificação da resistência, que tem em conta o efeito de duração das ações e do teor de água;
γ_M - coeficiente parcial de segurança para uma propriedade de um material;
$f_{c,k}$ - valor característico da resistência de compressão perpendicular ao fio;
$f_{m,k}$ – valor característico da resistência à flexão.

- Coeficiente de Esbelteza

$$\lambda_y = \frac{l_{e,y}}{i_y} \tag{6.23}$$

É preciso calcular o raio de giração, i_y, através de:

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{16}{\sqrt{12}} = 4{,}62cm \tag{6.24}$$

Logo,

$$\lambda_y = \frac{l_{e,y}}{i_y} = \frac{283}{4{,}62} = 61{,}26 \tag{6.25}$$

- Tensão Crítica

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda y} = \frac{\pi^2 \cdot 9{,}4 \cdot 10^6}{61{,}26^2} = 24{,}72MPa \tag{6.26}$$

Em que,
$E_{0,05}$ – Módulo de elasticidade a 5%.

- Coeficiente de Esbelteza Relativo

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{24}{24{,}7}} = 0{,}98530 > 0{,}5 \tag{6.27}$$

- Coeficiente de Encurvadura

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \tag{6.28}$$

Onde k_y, segundo o EC5 na alínea 6.3.2, é igual a,

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0{,}3) + \lambda_{rel,y}^2) \tag{6.29}$$

Em que,
$\beta_c -$ fator aplicável aos elementos que respeitem as exigências de retidão definidas no capítulo 7 do EC5, sendo $\beta_c = 0{,}1$ para madeiras lameladas coladas.
Logo,

$$k_y = 0{,}5 \cdot (1 + 0{,}1 \cdot (0{,}985 - 0{,}3) + 0{,}985^2) = 1{,}019 \tag{6.30}$$

Finalmente,

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1{,}019 + \sqrt{1{,}019^2 - 0{,}985^2}} = 0{,}78 \tag{6.31}$$

- Verificação da Estabilidade

  Portanto, finalmente é chegado o momento de verificar a estabilidade do pilar através da seguinte equação:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \tag{6.32}$$

$$\frac{0{,}822}{0{,}78 \cdot 11{,}52} + \frac{2{,}053}{17{,}28} \leq 1 \tag{6.32}$$

Logo,

$$0{,}21028 \leq 1\ ,$$

portanto verifica-se assim a estabilidade do pilar.

6.3.2. Verificação de Estabilidade da Viga

Para a verificação de estabilidade da viga, foi considerada a viga representada na figura 6.8.

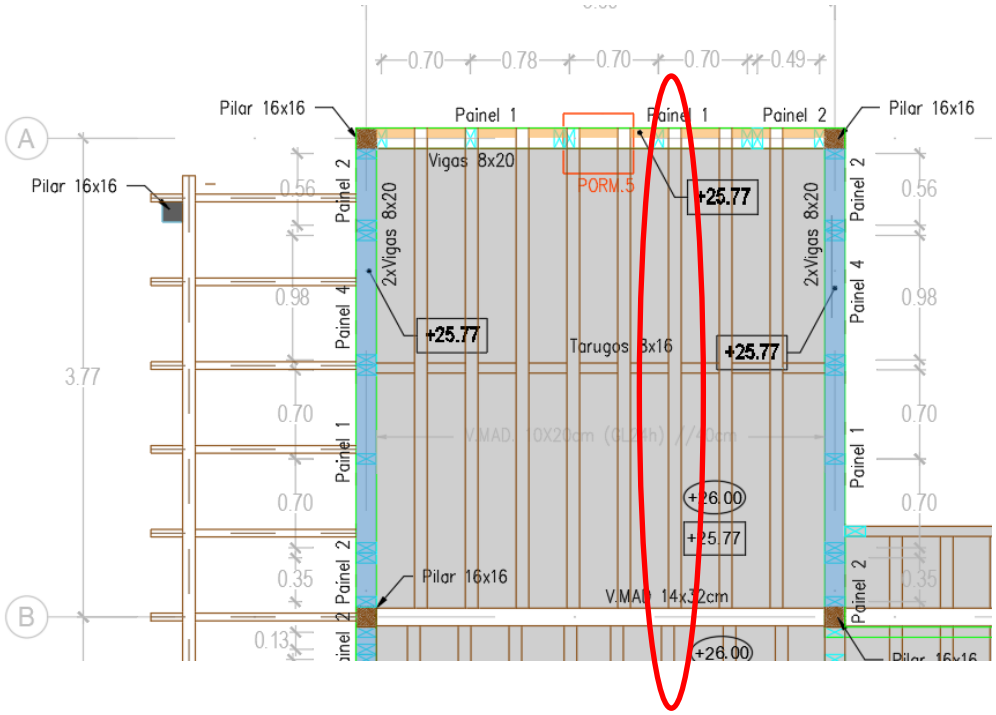


Fig.6.8 – Viga escolhida para exemplo de cálculo de verificação de estabilidade

Antes de prosseguir com o cálculo, foram organizadas todas as informações necessárias e disponíveis para realização da verificação:

- Peso do Soalho (disponibilizado pela Cerne) = 2,18KN/m^2;
- Circulação de pessoas (sobrecarga) = 2KN/m^2;
- Secção da viga = 20x10cm^2;
- Espaçamento entre vigas = 40cm
- Comprimento da viga = 3,78m;
- GL24h.

Portanto,

- Peso do soalho = 2,18KN/m^2 * 0,40 (área de influência) = 0,872KN/m;
- Sobrecarga = 2KN/m^2 * 0,40 = 0,8KN/m;
- Peso Próprio = (20*10)*380*10^{-2} = 0,0760KN/m.

Combinação de ações:

$$1{,}35 \cdot (0{,}872 + 0{,}0760) + 1{,}5 \cdot 0{,}8 = 2{,}48KN/m \quad (6.33)$$

Antes de começar os cálculos é esboçada a seguinte disposição para a viga:

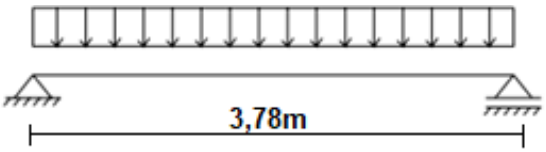


Fig.6.9 – Esboço da viga

Considerando o impedimento da rotação por torção nos apoios e que o soalho garante o travamento do banzo comprimido, não é preciso verificar a instabilidade elástica e, portanto, utiliza-se o valor de k_{crit} = 1,0.

Levando em conta,

- Classe de serviço 2;
- k_{mod} = 0,60;
- γ_M = 1,25.

Prossegue-se então para a verificação da estabilidade.

- Esforços Atuantes

$$M_{sd} = p \cdot \frac{l^2}{8} = 2{,}48 \cdot \frac{3{,}78^2}{8} = 4{,}43KNm \quad (6.34)$$

E

$$V_{sd} = p \cdot \frac{l}{2} = 2{,}48 \cdot \frac{3{,}78}{2} = 4{,}69KN \quad (6.35)$$

- Tensões Atuantes

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{I_y} \cdot z \quad (6.36)$$

$$\sigma_{v,d} = \frac{V_{sd} \cdot S_y}{I_y \cdot b} \quad (6.37)$$

Em que,
I_y – inércia em relação ao eixo y;
S_y – momento estático em relação ao eixo y;
z – altura da secção;
b – largura da secção em relação à altura z_0.

Logo,

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{I_y} \cdot z = \frac{4{,}43}{\frac{0{,}1 \cdot 0{,}2^3}{12}} \cdot \left(\frac{0{,}2}{2}\right) \cdot 10^{-3} = 6{,}645MPa \quad (6.38)$$

E

$$\sigma_{v,d} = \frac{V_{sd} \cdot S_y}{I_y \cdot b} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4{,}69}{0{,}1 \cdot 0{,}2} \cdot 10^{-3} = 0{,}352MPa \quad (6.39)$$

- Tensões Resistentes

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}6 \cdot 24}{1{,}25} = 11{,}52MPa \quad (6.40)$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0{,}6 \cdot 2{,}7}{1{,}25} = 1{,}296MPa \quad (6.41)$$

- Verificação da Estabilidade:

Flexão: $\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$(ok)
Corte: $\sigma_{v,d} \leq f_{v,d}$(ok)

Concluindo-se que é verificada a estabilidade da viga segundo o Estado Limite Último de Resistência.

6.4. VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DA ASNA DA COBERTURA

Para o cálculo da verificação da estabilidade da asna da cobertura foi utilizado o software Autodesk Robot Structural Analysis Professional, que se trata de um programa de análise de elementos finitos muito utilizado como suporte de cálculo de estruturas para muitos engenheiros atualmente.

Além disso, esse programa está diretamente ligado ao sistema e operacionalidade BIM, permitindo que os engenheiros otimizem seus projetos com comunicação total, simplificando o processo de design e permitindo uma rastreabilidade das alterações do design ao longo de todo o processo.

Antes de proceder ao cálculo, foram reunidas todas as informações e dados necessários para a asna e para a sua verificação.

- Peso Próprio (Carga Permanente)

  O programa, ao serem definidas as características geométricas do elemento estrutural calcula automaticamente o peso próprio a ser considerado na combinação de ações e no futuro cálculo de verificação da estabilidade. Entretanto, de forma a elucidar o leitor, apresentam-se a seguir as características relacionadas a geometria da asna.

  i. Comprimento: 14,5m;
  ii. Altura: 2,85m;
  iii. Número de campos entre os pendurais: 8;
  iv. GL24h;
  v. Secções conforme figura 6.10.

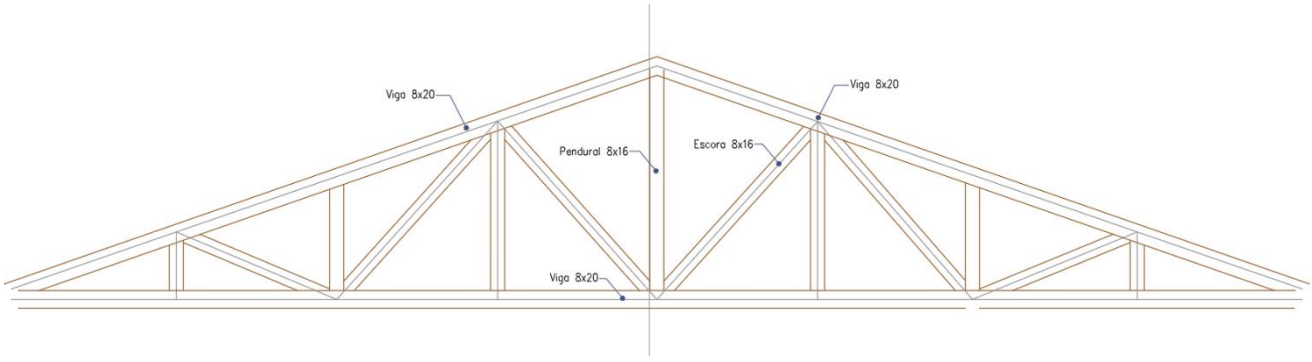


Fig.6.10 –Asna a ser verificada e as suas secções

- Revestimento (Carga Permanente)

O revestimento foi fornecido pela Cerne com um valor de 1,35KN/m^2 e para ser utilizado como valor de cálculo foi multiplicado pela área de influência da cobertura, resultando nas seguintes cargas por nó,

$$Revestimento = 1{,}35KN/m^2 \cdot [(0{,}9575m \cdot 2) \cdot 1{,}865m] = 4{,}82KN \qquad (6.42)$$

- Sobrecarga

De acordo com o Eurocódigo 1-1, alínea 6.3.4 (Coberturas), foi verificada a classificação de categoria H da cobertura "Coberturas não acessíveis, exceto para operações de manutenção e reparação correntes." Portanto, as sobrecargas para coberturas de categoria H encontram-se no quadro 6.10 do EC1-1 e foi assinalado um valor recomendado de 0,4KN/m^2. Multiplicado pela área de influência, obtemos para ccarga em cada nó o valor de,

$$Sobrecarga\ (Manutenção) = \frac{0{,}4KN}{m^2} \cdot 1{,}915m \cdot 1{,}865m = 1{,}428KN \qquad (6.43)$$

- Vento

A ação do vento foi quantificada utilizando o EC1-1 e o EC1-4 e desenvolveu-se através da alínea 7.2.5 Coberturas de duas vertentes, onde a cobertura é dividida em zonas conforme a figura 6.12, a altura de referência, z_c, é considerada igual a h e os coeficientes de pressão a serem utilizados para o cálculo são fornecidos na tabela 7.4 do EC1-4.
Foi calculada apenas a ação do vento horizontal a $\theta = 0°$, ver figuras 6.11 e 6.12, [37].

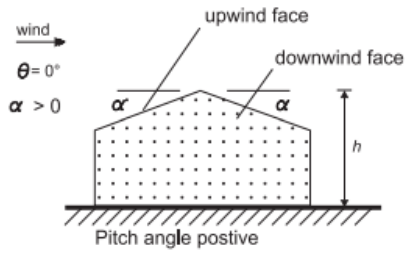


Fig.6.11 – direção do vento com $\theta = 0°$, []

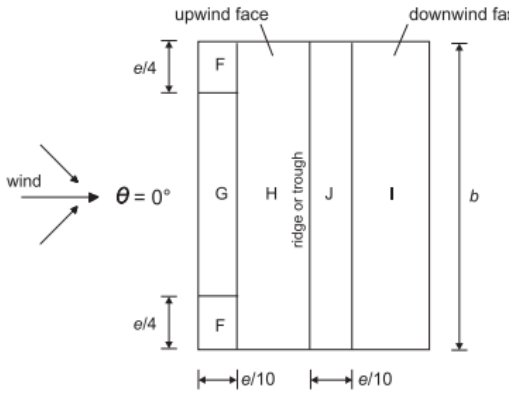


Fig.6.12 – Zonas da cobertura, []

Portanto, considerando o ângulo de inclinação da cobertura igual a $\alpha = 20°$ foi realizada a interpolação da tabela 7.4a do EC1-4 de forma a encontrar o vento transversal ($\theta = 0°$).

Ângulo de inclinação α	Zona; Direcção do vento θ= 0°									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

NOTA 1 : *Com θ = 0° e para inclinações entre α = -5° e α = +45°, a pressão varia rapidamente entre valores positivos e negativos na vertente virada a barlavento, razão pela qual são fornecidos valores positivos e negativos. Para estas coberturas deverão ser considerados quatro casos, em que os valores maiores ou menores em todas as áreas F, G e H são combinados com os valores maiores ou menores nas áreas I e J. Não é permitida a mistura, numa mesma vertente, de valores positivos com valores negativos.*

NOTA 2: *Para ângulos de inclinação intermédios entre ângulos com o mesmo sinal, poderá ser efectuada uma interpolação linear entre valores com o mesmo sinal. (Não efectuar interpolação entre α = +5° e α = -5°, mas antes utilizar os valores relativos às coberturas em terraço indicados em 7.2.3). Os valores iguais a 0,0 são fornecidos para efeitos de interpolação.*

Fig.6.13 – Quadro extraído do EC1-4

Em conformidade, obtiveram-se os valores da Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Valores de $c_{pe,10}$

F	G	H	I	J
-0,77	-0,7	-0,27	-0,4	-0,83

No ponto 7.2.9 do EC1-4 (Pressão Interior), por simplificação de cálculos e em comum acordo com a Norma Portuguesa, recorreu-se à Nota número 2, "Quando não seja possível calcular o valor de μ para um determinado caso, ou tal cálculo não se considere justificado, o coeficiente c_{pi} deverá ser considerado com o valor mais gravoso de entre +0,2 e -0,3.". Os valores estão divididos em pressão interior "up" e pressão interior "down" respectivamente.

Assim, na Tabela 6.2 consideram-se os valores finais dos coeficientes de pressão.

Tabela 6.2 – Valores de $c_{pe,10}$ com a adição e subtração de 0,2 e 0,3 respetivamente

F		G		H		I		J	
-0,97	-0,47	-0,90	-0,4	-0,47	+0,03	-0,6	-0,10	-1,03	-0,53

Após encontrar tais valores é necessária a multiplicação dos mesmos pelo valor da Pressão Dinâmica de Pico do Vento, $q_p(z)$.

O processo para esse cálculo é o mesmo utilizado para a quantificação da ação do vento no subcapítulo 6.2.1:

i. Valores de referência

O valor de referência da velocidade do vento pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (6.44)$$

em que,

$v_{b,0}$– é o valor básico da velocidade de referência do vento;

c_{dir}- é o coeficiente de direção;

c_{season}– é o coeficiente de sazão.

O valor recomendado para $cdir\ e\ cseason$ é 1,0 de acordo com as notas da alínea 4.2 do EC1 – 4, e o valor de *vb,0,* valor básico da velocidade de referência do vento, de acordo

com o Anexo Nacional do EC1-3 é 27m/s, devido a moradia estar inserida na Zona A (figura 6.5).
Portanto,

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 27 = 27\,[m/s] \tag{6.45}$$

ii. Vento Médio

A velocidade do vento médio, v_m (z), depende da altitude z acima do solo, da rugosidade do terreno, c_r (z), da ortografia c_0 (z) e do valor de referência, v_b.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \tag{6.46}$$

Considera-se $c_0(z)$ igual a 1.
Para calcular a rugosidade do terreno, $c_r(z)$, é preciso obter os valores de z_{min}e z_{max}. Para obter tais valores é preciso consultar o Anexo Nacional para ver em que tipo de zona se encontra a moradia. Através da consulta da tabela da figura 6.6, é possível concluir que a moradia se encontra na zona II.
Como a altura da moradia está compreendida entre $z_{min} \leq$ 9,12m (altura da moradia) $\leq z_{max}$ (a ser considerada igual a 200m), logo, será utilizada a seguinte expressão:

$$c_r(z) = k_r \cdot ln\frac{z}{z_0}\,, para\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \tag{6.47}$$

É necessário o cálculo do coeficiente do terreno, k_r, que é dado pela seguinte expressão:

$$k_r = 0{,}19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \cdot \left(\frac{0{,}05}{0{,}05}\right)^{0{,}07} = 0{,}19 \tag{6.48}$$

Com $z_{0,II}$= 0,05m e z = 9,12m (altura da moradia). Logo,

$$c_r(z) = 0{,}19 \cdot ln\frac{9{,}12}{0{,}05} = 0{,}989 \tag{6.49}$$

Chegando finalmente a,

$$v_m = 0{,}989 \cdot 1 \cdot 27 = 26{,}703\,[m/s] \tag{6.50}$$

iii. Turbulência do Vento

A intensidade de turbulência à altura z, $I_v(z)$, é definida como o quociente entre o desvio padrão da turbulência e a velocidade média do vento.

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_{m(z)}}, para\ z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (6.51)$$

O valor do desvio padrão da turbulência, σ_v, poderá ser determinado através da seguinte expressão, considerando o valor de $k_1$igual a 1:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_1 = 0{,}19 \cdot 27 \cdot 1 = 5{,}13\ [m/s] \quad (6.52)$$

Sendo assim,

$$I_v(z) = \frac{5{,}13}{26{,}703} = 0{,}192 \quad (6.53)$$

iv. Pressão Dinâmica de Pico

Proveniente da velocidade média e das flutuações de curta duração da velocidade do vento. Utilizando o primeiro método:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) \quad (6.54)$$

Sendo o valor da massa volúmica do ar, $\rho = 1{,}25\ [kg/m^3]$, chegando assim ao seguinte resultado:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0{,}192] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 26{,}703^2 = 1044[N/m^2] = 1{,}04 KN/m^2 \quad (6.55)$$

Finalmente, com a multiplicação da Turbulência de Pico, $q_p(z)$, pelos Coeficientes de pressão, c_p, chega-se aos valores da Tabela 6.3.

Tabela 6.3 –Valores de $q_p(z) \cdot c_p$

F		G		H		I		J	
-1,01	-0,488	-0,936	-0,416	-0,488	+0,0312	-0,624	-0,104	-1,07	-0,55

Através da tabela é possível verificar que a região da cobertura onde o vento é mais agravante é a região J. Por outro lado, o vento "down" verifica-se na região H com o valor de +0,0312 sendo

um valor muito pouco considerável. Para questões de cálculo e verificação de estabilidade da cobertura, foi desconsiderado o vento "down" e, apesar de ter a consciência de que o vento de 1,07KN/m^2 é apenas aplicado na região J, o mesmo foi considerado como vento "up" em toda a região da cobertura, de forma que assim fica verificada a estabilidade para a situação mais gravosa.

Antes de prosseguir ao cálculo são apresentados os seguintes dados que foram reunidos anteriormente:

- Peso Próprio;
- Revestimento = 4,82KN;
- Sobrecarga (Manutenção) = 1,428KN;
- Vento sucção = 1,07*(0,9575*2)*1,865 = 3,82KN.

Para a verificação da estabilidade foi utilizado o programa Autodesk Robot, e o primeiro passo ao abrir o programa é desenhar a asna e definir todas as suas propriedades, ver figura 6.14.

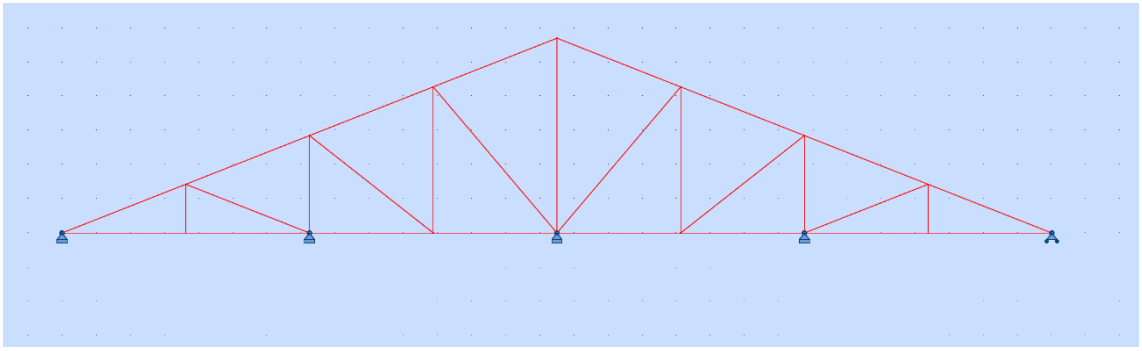


Fig.6.14 –Asna desenhada em Autodesk Robot

É possível verificar na figura 6.14 a existência de 5 apoios que na realidade representam 5 pilares da estrutura da moradia. A seguir apresenta-se uma tabela com as propriedades de cada elemento da asna, ver figura 6.15.

Barra	Nó 1	Nó 2	Seção	Material	Gama (Deg)	Tipo	Objeto estrutural
1	1	9	RETÂNG_8x20	GL24h	180,0	Viga de madeira_linha	Viga
2	1	13	RETÂNG_8x20	GL24h	0,0	Viga de madeira_linha	Viga
3	9	13	RETÂNG_8x20	GL24h	0,0	Viga de madeira_linha	Viga
100	3	10	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
101	4	11	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
102	5	12	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
103	7	16	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
104	6	15	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
105	5	14	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
200	2	10	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
201	3	11	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
202	4	12	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
203	5	13	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
204	6	14	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
205	7	15	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
206	8	16	RETÂNG_8x16	GL24h	0,0	Viga de madeira_Cobertur	Viga
*							

Fig.6.15 –Propriedades da Asna

Após a definição das propriedades da asna foram adicionadas as cargas que passaram a assumir um nome específico dentro do programa:

- Peso Próprio – "Dead Load" (Carga Permanente) – DL1
- Revestimento – 4,82KN – "Dead Load" (Carga Permanente) – DL2
- Sobrecarga (Manutenção) – 1,428KN – "Live Load" (Sobrecarga) – LL1
- Vento – 1,07*(0,9575*2)*1,865 = 3,82KN – WIND – W

Foram aplicadas as cargas nos nós, conforme figura 6.16.

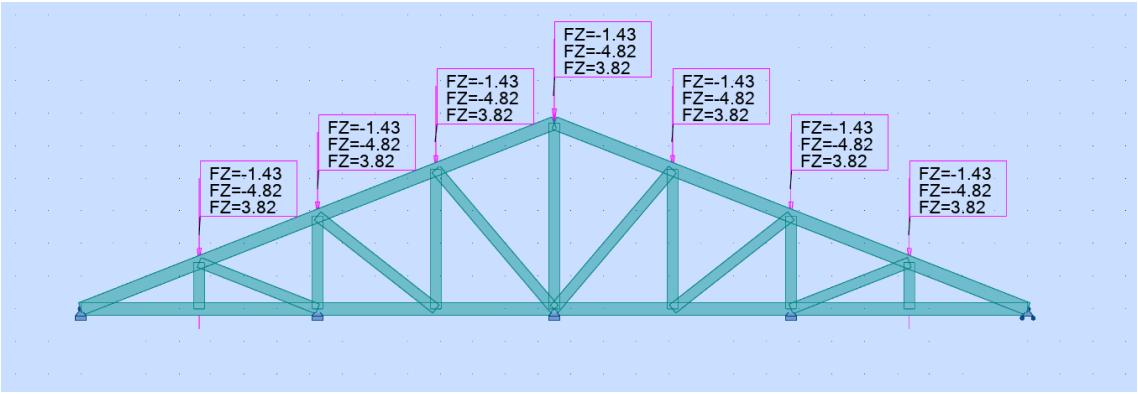


Fig.6.16 – Cargas aplicadas nos nós

Após a definição de todos os elementos e parâmetros necessários para a análise estrutural, passou-se à execução das combinações de ações. Através do menu *"Loads – Manual Combinations…"*

foram estabelecidas as combinações a utilizar. Por meio da figura 6.17 é possível verificar a conformidade do programa com o EC0, onde se lê "NP EN 1990:2009".

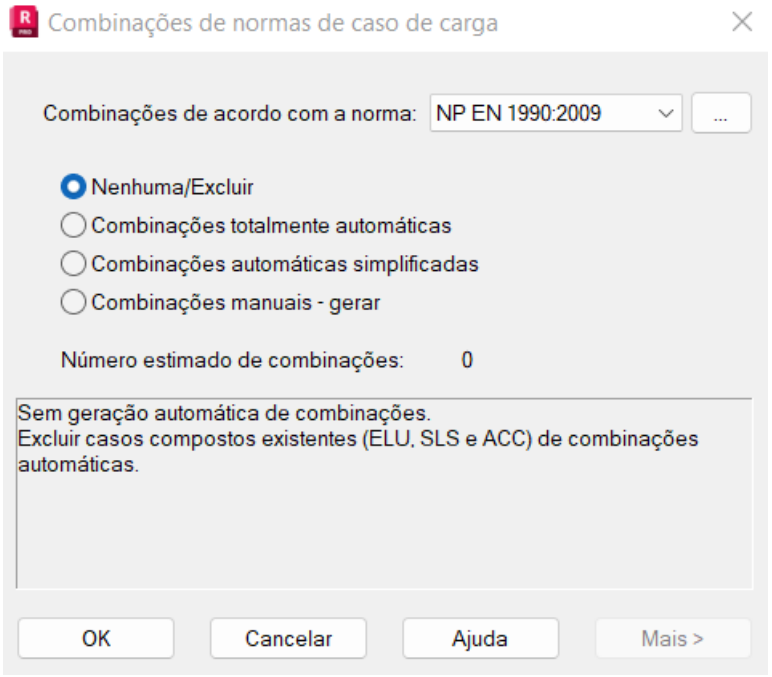


Fig.6.17 – Escolha das combinações

Foram definidas as seguintes combinações de ações:

ULS (Estado Limite Último)

- 1,35*DL1 + 1,35*DL2 + 1,5*LL1 + 1,5*ψ_0*W;
- 1,35*DL1 + 1,35*DL2 + 1,5* ψ_0*LL1 + 1,5*W.

SLS (Estado Limite de Serviço)

- 1,0*DL1 + 1,0*DL2 + 1,0*LL1 + 1,0* ψ_0*W;
- 1,0*DL1 + 1,0*DL2 + 1,0* ψ_1*LL1 + 1,0* ψ_1*W;
- 1,0*DL1 + 1,0*DL2 + 1,0* ψ_2*W;

De acordo com o Anexo A1 "Aplicação a edifícios" do EC0, na alínea A1.2 "Combinações de ações", é disponibilizado o valor dos coeficientes ψ.

Tabela 6.4 –Valores de Ψ

Ação	Ψ0	Ψ1	Ψ2
Categoria H: Coberturas	0	0	0

Ação do vento em Edifícios	0,6	0,2	0

Após a aplicação da combinação de ações foi realizado o cálculo da estrutura através do botão "*cálculos*", chegando-se aos diagramas das figuras 6.18, 6.19 e 6.20.

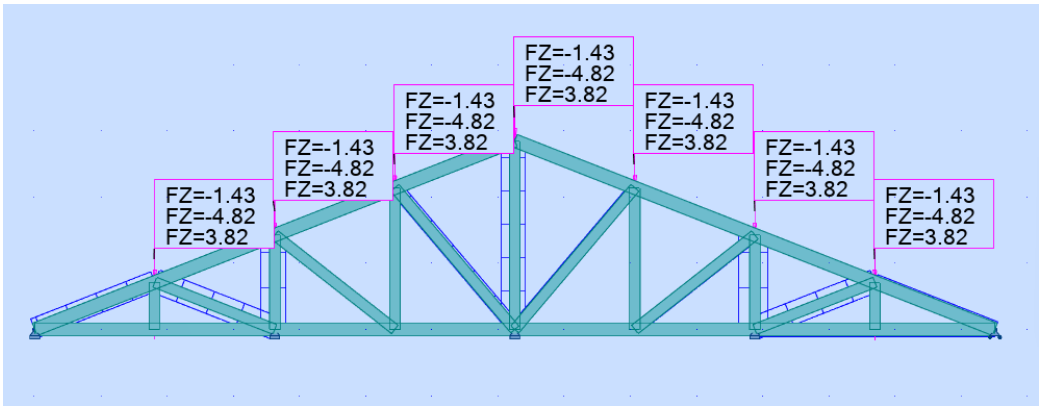


Fig.6.18 – Diagrama de cargas Axiais

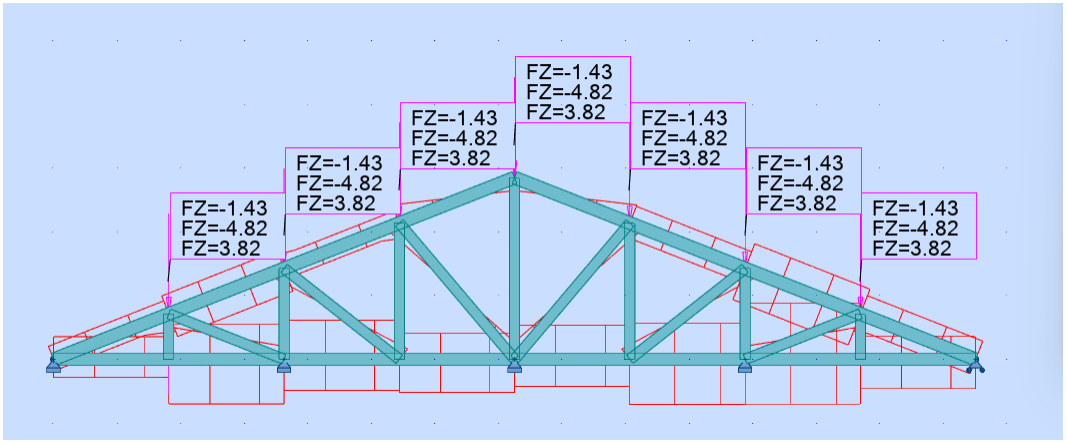


Fig.6.19 – Diagrama de cargas Transversais

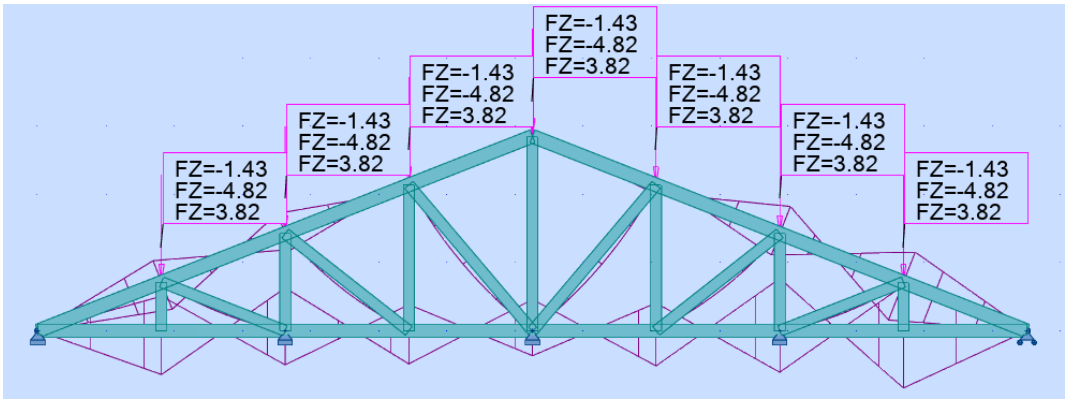


Fig.6.20 – Diagrama de Momentos

Após a análise dos diagramas, para chegar aos cálculos de verificação de estabilidade é preciso aceder à aba da figura 6.21 para que a análise seja feita de acordo com o EC5.

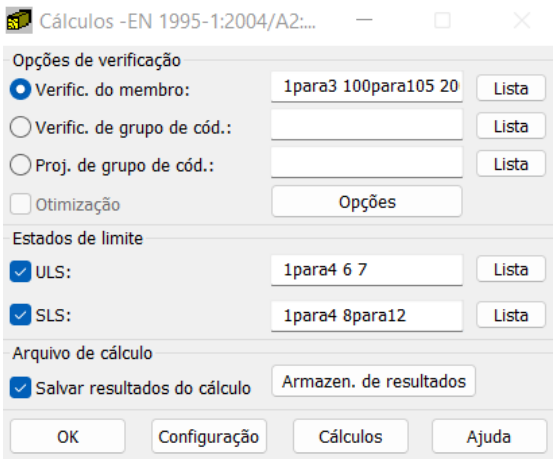


Fig.6.21 – Aba para projetos em madeira

Através do botão cálculos chega-se à verificação de estabilidade da estrutura.

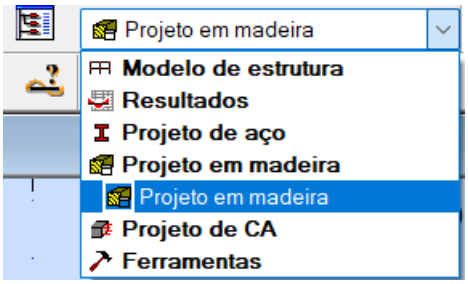


Fig.6.22 – Aba de cálculos para projetos em madeira

Portanto, finalmente, apresentam-se a seguir as verificações de estabilidade da estrutura da asna, e como se pode ver através da figura 6.23, o programa verifica a estabilidade da asna. Um documento mais detalhado foi adicionado aos anexos.

Membro	Seção		Material	Lay	Laz	Relação	Caso	Caso (uy)	Proporç	Caso (uz)
1	OK	RETÂNG_8x2	GL24h	62.79	78.48	0.05	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*
2	OK	RETÂNG_8x2	GL24h	33.73	84.33	0.07	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*
3	OK	RETÂNG_8x2	GL24h	33.73	84.33	0.05	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*
100	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	42.16	84.33	0.08	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
101	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	49.92	99.84	0.02	4 Vento 1	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
102	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	60.68	121.35	0.09	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
103	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	42.16	84.33	0.08	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
104	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	49.92	99.84	0.03	4 Vento 1	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
105	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	60.68	121.35	0.08	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.01	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
200	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	15.43	30.85	0.00	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*
201	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	30.85	61.70	0.06	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	1*1 + 1*2 + 1.5*4
202	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	46.28	92.56	0.02	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	1*1 + 1*2 + 1.5*4
203	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	61.70	123.41	0.17	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	1.35*1 + 1.35*2 + 1.
204	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	46.28	92.56	0.03	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*
205	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	30.85	61.70	0.06	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	1*1 + 1*2 + 1.5*4
206	OK	RETÂNG_8x1	GL24h	15.43	30.85	0.00	2 Revestimento	(1+0.8)*1 + (1+0.8)*	0.00	1.35*1 + 1.35*2 + 1.

Fig.6.23 – Janela informativa referente aos cálculos da asna

7
CONCLUSÃO

7.1. NOVAS COMPETÊNCIAS ADQUIRIDAS

A elaboração do presente trabalho, desenvolvido em ambiente empresarial na empresa Cerne Projeto e Consultoria, permitiu concretizar de modo aplicado muitos dos conhecimentos teóricos e práticos adquiridos no âmbito do MIEC (atualmente LEC e MEC), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Para a realização dos trabalhos foi necessário adquirir novos conhecimentos e aptidões, fundamentalmente em duas ferramentas informáticas, o Autodesk Revit e o Autodesk Robot, de forma a materializar partes da execução do projeto de uma obra exemplo, disponibilizada pela empresa acolhedora.

É possível afirmar que a realização da dissertação em ambiente empresarial demonstrou-se assim muito vantajosa no desenvolvimento de novas competências práticas e na aquisição de rotinas de trabalho associadas ao dia a dia de um engenheiro civil projetista, o que constituiu assim uma maior valia significativa adquirida durante a realização do estágio em ambiente profissional, associado à realização esta dissertação.

7.2. ANÁLISE DO CUMPRIMENTO DE OBJETIVOS

Relativamente ao trabalho desenvolvido, foi verificada a importância do Building Information Modeling nos dias de hoje para a área da construção, com destaque para a área de projeto, bem como as suas vantagens na utilização desta metodologia desde o início do projeto, até à entrega da obra e até mesmo durante a fase de utilização da construção.

O software Revit apareceu como uma ferramenta de projeto e execução de obras com imensas potencialidades.

Do mesmo modo, foi possível comprovar que o software Robot, é bastante adequado também para ser usado em projetos de estruturas de madeira, desde que se tenha acesso ao módulo de cálculo orgânico associado a elementos em madeira, o que é o caso da empresa CERNE.

No que toca às tecnologias estudadas a respeito do Timberframe e das construções pré-fabricadas em madeira em geral, sem dúvida nenhuma é possível afirmar que tais formas construtivas fazem e farão parte do futuro da construção civil, seja numa perspetiva de construção rápida e mais econômica, bem como numa perspetiva de construção limpa com baixíssimas emissões de gases de efeito estufa e finalmente também no que se refere à redução dos prazos de construção.

Também no que se refere ao Eurocódigo 5, parte 1.1, foi feito um estudo mais desenvolvido relativamente ao que havia sido aprendido na realização da disciplina "Construções em Madeira" do MEC, onde foi possível adquirir conhecimentos elementares sobre o tema, que se materializou na produção de um capítulo de síntese sobre este Eurocódigo, principal ferramenta de verificação estrutural a que se recorreu para realizar a verificação parcial da estabilidade da estrutura de madeira da moradia estudada, e que é apresentada no capítulo 6.

Considerando, tudo o atrás referido, pode afirmar-se com confiança que foram em geral atingidos os objetivos desta dissertação, embora seja justo reconhecer que o trabalho de verificação estrutural ficou aquém do inicialmente ambicionado, já que não foi feita nenhuma verificação ao nível dos estados limites de utilização e não foi desenvolvida nenhuma ferramenta de pré-dimensionamento em EXCEL por exemplo. Aliás, a definição dos elementos estruturais foi feita "a sentimento", tendo-se assim verificado no final das verificações que as estruturas projetadas são "bastante robustas", havendo folga para alguma redução de dimensões das peças e para o aumento das distâncias entre vigas de pavimentos, madres da cobertura e eventualmente mesmo uma redução do número de madres da cobertura.

Dessa forma, conjugando todos os elementos anteriormente citados, o desenvolvimento do presente tema da dissertação e juntamente com o estágio na empresa Cerne Projeto e Consultoria, pode-se dizer que foi uma experiência profissional fundamental, pois permitiu a aquisição de conhecimento de tecnologias atuais, assim como, permitiu ter uma noção da realidade do mercado de trabalho atual no âmbito da Engenharia Civil.

7.3 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Ao longo desta dissertação são abordadas várias funcionalidades que o *Revit* e o Robot disponibilizam com vista à realização de projetos de estruturas de madeira.

Nesse contexto, existem imensas possibilidades de desenvolvimentos futuros ao nível de linhas de investigação neste domínio, tanto ao nível de estudos de caso, como de desenvolvimento de soluções estruturais tipificadas.

O tema da construção em madeira industrializada não foi explorado nesta dissertação para além de uma síntese geral apresentada no capítulo 2. Este tema constitui um tema muito interessante e com grande potencial de crescimento enquanto domínio de investigação em universidades de todo o Mundo, e logo também em Portugal, e que de alguma forma esta dissertação também aponta como um caminho essencial a seguir no futuro próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Elliott, S.;Wallas, E. *The Timber Framing Book.* Kennebunk, 1977.

[2] TRADA. *Wood information sheet.* Reino Unido, 2016.

[3] Beemer, W. *Learn to Timber Frame.* North Adams, 2016.

[4] Blue Ridge Timberwrights (https://brtw.com/history-of-timber-framing/). 26/05/2022

[5] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R; Liston, K. 2014. *Manual de Bim: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.* Porto Alegre: Bookman, 483 p.

[6] Martins, J.; Monteiro, A.; *Building information modeling (BIM) - teoria e aplicação.* 2011.

[7] Lang, Henrique. 2019. "*Análise da Aplicação do BIM no Processo de Projeto e de Construção de Edificações em Madeira".* Trabalho de Conclusão de Curso, Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

[8] Goodland, H.; Lam, A.; Chatterton, S. *Building Information Modelling for Wood Buildigns an introductory guide.* SCIUS Advisory and BIM One Inc., 2022.

[9] Staub-French, S. *et al. Building Information Modeling (BIM) and Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) for Mass Timber Construction.* Bim Topics Research Lab, University of British Columbia, Vancouver, 2018.

[10] PILON, A. et al. *Brock Commons Tallwood House: Construction Modelling.* Naturallywood, Vancouver, 2017.

[11] Lopes, Vito. 2015. *"A integração de técnicas BIM (Building Information Modeling) no projeto e na construção de estruturas de madeira"*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

[12] Vasconcelos, David. 2013. *"Building Information Modeling (BIM) na Arquitetura, Construção e na Pré-Fabricação".* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura, Universidade do Porto.

[13] Negrão, J., Faria, J.A.. Projecto de estruturas de madeira. Publindústria, Edições Técnicas, 2009.

[14] EN 1990. (2009). *Bases para Projecto de Estruturas*.

[15] EN 1991-1-1. (2009). *Eurocódigo1parte 1- Ações gerais, Pesos volúmicos, Pesos Próprios, Sobrecargas em Edifícios.*

[16] EN 1995-1-1. (2004). *Eurocode5part 1 – Design of timber structures.*

[17] Bússola PT (https://bussola-pt.com/201184/obelisco-da-memoria). 13/06/2022

[18] Geneall (https://geneall.net/pt/mapa/204/matosinhos/). 13/06/2022

[19] Instituto Nacional de Estatística (https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=156638623&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554). 13/06/2022

[20] Jornal de Notícias (https://infoempresas.jn.pt/C_INDUSTRIAS-TRANSFORMADORAS/Freguesia_UNIAO-FREGUESIAS-PERAFITA-LAVRA-SANTA-CRUZ-BISPO-MATOSINHOS.html). 13/06/2022

[21] ZeroZero (https://www.zerozero.pt/stadium_photos.php?id=4334). 14/06/2022

[22] Clube CS Lavra (http://clubecslavra.blogspot.com/). 14/06/2022

[23] Portugal fotografia aérea (https://portugalfotografiaaerea.blogspot.com/2019/01/praia-da-agudela-praia-das-pedras-do.html). 14/06/2022

[24] Sistema de Gestão e Informação Ambiental (http://sig.cm-matosinhos.pt/sgam/index.php?option=com_content&view=article&id=111&Itemid=259). 14/06/2022

[25] Matosinhos World's best fish (https://www.matosinhoswbf.pt/pages/326?geo_article_id=328). 14/06/2022

[26] Citta, *Plano de Mobilidade e Transportes de Matosinhos*, 2017.

[27] Câmara Municipal de Matosinhos (https://www.cm-matosinhos.pt/servicos-municipais/educacao/carta-educativa). 14/06/2022

[25] Blocks (https://www.blocksrvt.com/blog-posts-portuguese/revit-o-que-e). 15/06/2022

[26] Arquiteto Leandro Amaral (https://arquitetoleandroamaral.com/revit/). 16/06/2022

[27] Sinfic (http://www.sinfic.pt/SinficWeb/displayconteudo.do2?numero=72380). 16/06/2022

[28] Graitec (https://www.graitec.pt/software-cad/engenharia-de-estruturas/robot-structural-analysis). 16/06/2022

[29] Bastos, João. 2011. "*Asnas Tradicionais de Madeira: Caracterização e Reforço"*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro.

[30] Branco, J., A. Santos, and P. Cruz, Asnas Tradicionais de Madeira: evolução, comportamento e reforço com materiais compósitos. RPEE, 2008.

[31] Vilarinho, Tiago. 2009. *"Análise de Robustez de Estruturas de Madeira Tradicionais"*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

[32] Branco, J.; Santos, A.; Cruz, P.; *Asnas Tradicionais de Madeira: Evolução, Comportamento e Reforço com Materiais Compósitos.* Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, 2008.

[33] ControleNet (https://www.controle.net/faq/renderizacao-ou-render-de-video-audio-e-imagens-3d). 16/06/2022

[34] Ferreira, Daniela. 2017. *"Soluções Construtivas em Madeira: Aplicação a Novas Estruturas e Reabilitação".* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade de Averio.

[35] Naturally:wood (https://www.naturallywood.com/products/glulam/). 09/06/2022

[36] Multiplacas (https://multiplacas.pt/produto/multilam-at/). 09/06/2022

[37] Esteves, José. 2021. *"Projeto Estrutural de Estruturas Metálicas segundo o Eurocódigo utilizando o software Robot Structural Analysis Professional 2020 da Autodesk®".* Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

ANEXOS

ANEXO A

TABELAS

	A	B	C	D	E
1	**Structural Column (*Pilares e Painéis*)**				
2	**Family and Type**	**Material: Name**	**Material: Area**	**Material: Volume**	**Count**
3					
4	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
5	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	3 m²	0.16 m³	1
6	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	1 m²	0.00 m³	1
7	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
8	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
9	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
10	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
11	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
12	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
13	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
14	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
15	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
16	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
17	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
18	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.07 m³	1
19	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.07 m³	1
20	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
21	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
22	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
23	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
24	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	4 m²	0.16 m³	1
25	M_Timber-Column: 160x160 projeto	Softwood, Lumber	2 m²	0.08 m³	1
26	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
27	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
28	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH	C18	3 m²	0.09 m³	1
29	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
30	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
31	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 2	C18	3 m²	0.08 m³	1
32	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
33	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
34	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 3	C18	3 m²	0.08 m³	1
35	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
36	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH	C18	6 m²	0.16 m³	1
37	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 4	C18	4 m²	0.09 m³	1
38	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
39	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
40	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 5	C18	4 m²	0.09 m³	1
41	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
42	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
43	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 6	C18	3 m²	0.09 m³	1
44	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
45	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
46	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 7	C18	3 m²	0.09 m³	1
47	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
48	PAINEL: PAINEL 1 SOUTH 2	C18	7 m²	0.17 m³	1
49	PAINEL: PAINEL 2 SOUTH 8	C18	4 m²	0.09 m³	1
50	PAINEL: PAINEL 2 WEST	C18	3 m²	0.09 m³	1

51	PAINEL_TRY: PAINEL_TRY 4 WEST	C18	3 m'	0.09 m²	1
52	PAINEL: PAINEL 1 WEST	C18	6 m'	0.16 m²	1
53	PAINEL: PAINEL 2 WEST 2	C18	3 m'	0.08 m²	1
54	PAINEL: PAINEL 2 WEST 3	C18	3 m'	0.07 m²	1
55	PAINEL_TRY: PAINEL_TRY 4 WEST 2	C18	3 m'	0.08 m²	1
56	PAINEL: PAINEL 6 WEST	C18	5 m'	0.14 m²	1
57	PAINEL_TRY: PAINEL_TRY 4 WEST 2	C18	3 m'	0.08 m²	1
58	PAINEL: PAINEL 2 WEST 4	C18	3 m'	0.07 m²	1
59	PAINEL: PAINEL 2 WEST 2 pira	C18	3 m'	0.07 m²	1
60	PAINEL_TRY: PAINEL 5 WEST 2 pira	C18	3 m'	0.09 m²	1
61	PAINEL: PAINEL 6 WEST 2 pira	C18	6 m'	0.14 m²	1
62	PAINEL_TRY: PAINEL 5 WEST 2 pira	C18	3 m'	0.09 m²	1
63	PAINEL: PAINEL 2 WEST 2 pira 2	C18	3 m'	0.08 m²	1
64	PAINEL: PAINEL 2 EAST	C18	3 m'	0.07 m²	1
65	PAINEL_TRY: PAINEL 5 EAST 1 pira	C18	3 m'	0.08 m²	1
66	PAINEL: PAINEL 3 EAST	C18	5 m'	0.11 m²	1
67	PAINEL_TRY: PAINEL 4 EAST	C18	3 m'	0.08 m²	1
68	PAINEL: PAINEL 1 EAST	C18	7 m'	0.17 m²	1
69	PAINEL: PAINEL 3 EAST 2	C18	5 m'	0.11 m²	1
70	PAINEL: PAINEL 2 EAST 2	C18	3 m'	0.07 m²	1
71	PAINEL_TRY: PAINEL 4 EAST 2	C18	5 m'	0.12 m²	1
72	PAINEL: PAINEL 2 EAST 3	C18	3 m'	0.09 m²	1
73	PAINEL: PAINEL 2 EAST 2 pira	C18	3 m'	0.08 m²	1
74	PAINEL_TRY: PAINEL 5 EAST 2 pira	C18	3 m'	0.09 m²	1
75	PAINEL: PAINEL 6 EAST 2 pira	C18	5 m'	0.12 m²	1
76	PAINEL_TRY: PAINEL 5 EAST 2 pira	C18	3 m'	0.09 m²	1
77	PAINEL: PAINEL 2 EAST 2 pira 2	C18	3 m'	0.09 m²	1
78	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
79	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
80	PAINEL: PAINEL 2 NORTH	C18	3 m'	0.08 m²	1
81	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 2	C18	3 m'	0.09 m²	1
82	PAINEL_TRY: PAINEL 4 entrada	C18	3 m'	0.08 m²	1
83	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
84	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 3	C18	3 m'	0.08 m²	1
85	PAINEL_TRY: PAINEL 4 porta	C18	5 m'	0.14 m²	1
86	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 4	C18	3 m'	0.09 m²	1
87	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 5	C18	3 m'	0.09 m²	1
88	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 4	C18	3 m'	0.09 m²	1
89	PAINEL_TRY: PAINEL 4 entrada 2	C18	4 m'	0.10 m²	1
90	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
91	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
92	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 6	C18	3 m'	0.08 m²	1
93	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
94	PAINEL: PAINEL 1 NORTH	C18	6 m'	0.16 m²	1
95	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 7	C18	3 m'	0.09 m²	1
96	PAINEL: PAINEL 3 EAST 3	C18	6 m'	0.16 m²	1
97	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 8	C18	4 m'	0.11 m²	1
98	PAINEL_TRY: PAINEL 4 pira 2	C18	4 m'	0.11 m²	1
99	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 9	C18	4 m'	0.10 m²	1
100	PAINEL_TRY: painel 2 pira 2 entrada	C18	5 m'	0.13 m²	1
101	PAINEL_TRY: PAINEL 5 entrada pira 2	C18	3 m'	0.09 m²	1
102	PAINEL_TRY: painel 2 pira 2 entrada 2	C18	5 m'	0.13 m²	1
103	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 11	C18	4 m'	0.11 m²	1
104	PAINEL_TRY: PAINEL 5 entrada pira 3	C18	3 m'	0.09 m²	1
105	PAINEL: PAINEL 1 NORTH 2	C18	7 m'	0.17 m²	1
106	PAINEL: PAINEL 1 NORTH 3	C18	7 m'	0.17 m²	1
107	PAINEL: PAINEL 1 NORTH 3	C18	7 m'	0.17 m²	1
108	PAINEL: PAINEL 2 NORTH 12	C18	4 m'	0.09 m²	1
109	**Grand total: 105**				105

ANEXO B

VERIFCAÇÃO DA ESTABILIDADE DA COBERTURA DA MORADIA

Membros - definição

Membro	Nome	Componentes	Grupo de normas	Seção	Tipo
1		1	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_I
2		2	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_I
3		3	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_I
100		100	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
101		101	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
102		102	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
103		103	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
104		104	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
105		105	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
200		200	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
201		201	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
202		202	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
203		203	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
204		204	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
205		205	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira_
206		206	(N/A)	RETÂNG_8	Viga de madeira

Membro	Ly (m)	Lz (m)
1	14,50	14,50
2	7,79	7,79
3	7,79	7,79
100	1,95	1,95
101	2,31	2,31
102	2,80	2,80
103	1,95	1,95
104	2,31	2,31
105	2,80	2,80
200	0,71	0,71
201	1,43	1,43
202	2,14	2,14
203	2,85	2,85
204	2,14	2,14
205	1,43	1,43
206	0,71	0,71

Verificação do membro em madeira

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 1 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 0.87 L = 12.69 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10



PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x20

ht=20.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=106.67 cm2	Az=106.67 cm2	Ax=160.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=5333.33 cm4	Iz=853.33 cm4	Ix=2553.5 cm4
tf=4.0 cm	Wy=533.33 cm3	Wz=213.33 cm3	

TENSÕES
Sig_t,0,d = N/Ax = -3.46/160.00 = -0.22 MPa
Sig_m,y,d = MY/Wy= -0.18/533.33 = -0.34 MPa

Tau z,d = 1.5*-0.19/160.00 = -0.02 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f t,0,d = 10.14 MPa
f m,y,d = 12.67 MPa
f v,d = 1.68 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kh_y = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00 kcr = 0.67

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:
Em torno de eixo Y: Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_t,0,d/f t,0,d + Sig_m,y,d/f m,y,d = 0.22/10.14 + 0.34/12.67 = 0.05 < 1.00 (6.17)

(Tau z,d/kcr)/f v,d = (0.02/0.67)/1.68 = 0.02 < 1.00 (6.13)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 7.3 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 7.3 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 4.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 4.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2

Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

Seção OK !!!

Data : 06/07/22 Página : 3

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 2 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 0.25 L = 1.95 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10



PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x20

ht=20.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=106.67 cm2	Az=106.67 cm2	Ax=160.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=5333.33 cm4	Iz=853.33 cm4	Ix=2553.5 cm4
tf=4.0 cm	Wy=533.33 cm3	Wz=213.33 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 5.21/160.00 = 0.33 MPa
Sig_m,y,d = MY/Wy= 0.09/533.33 = 0.17 MPa

Tau z,d = 1.5*0.05/160.00 = 0.00 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa
f m,y,d = 12.67 MPa
f v,d = 1.68 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kh_y = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00 kcr = 0.67



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:		Em torno do eixo Z:	
LY = 7.79 m	Lambda Y = 33.73	LZ = 7.79 m	Lambda Z = 84.33
Lambda_rel Y = 0.54	ky = 0.66	Lambda_rel Z = 1.34	kz = 1.45
LFY = 1.95 m	kcy = 0.97	LFZ = 1.95 m	kcz = 0.50

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/(kc,z*f c,0,d) + km*Sig_m,y,d/f m,y,d = 0.33/(0.50*11.52) + 0.70*0.17/12.67 = 0.07 < 1.00 (6.24)

(Tau z,d/kcr)/f v,d = (0.00/0.67)/1.68 = 0.00 < 1.00 (6.13)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 3.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 3.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 2.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 2.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2

Data : 06/07/22 Página : **4**

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 3 **PONTO:** 3 **COORDENADAS:** x = 0.25 L = 1.95 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x20

ht=20.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=106.67 cm2	Az=106.67 cm2	Ax=160.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=5333.33 cm4	Iz=853.33 cm4	Ix=2553.5 cm4
tf=4.0 cm	Wy=533.33 cm3	Wz=213.33 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 3.75/160.00 = 0.23 MPa
Sig_m,y,d = MY/Wy= 0.13/533.33 = 0.24 MPa

Tau z,d = 1.5*0.07/160.00 = 0.01 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa
f m,y,d = 12.67 MPa
f v,d = 1.68 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kh_y = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00 kcr = 0.67

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:		Em torno do eixo Z:	
LY = 7.79 m	Lambda Y = 33.73	LZ = 7.79 m	Lambda Z = 84.33
Lambda_rel Y = 0.54	ky = 0.66	Lambda_rel Z = 1.34	kz = 1.45
LFY = 1.95 m	kcy = 0.97	LFZ = 1.95 m	kcz = 0.50

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/(kc,z*f c,0,d) + km*Sig_m,y,d/f m,y,d = 0.23/(0.50*11.52) + 0.70*0.24/12.67 = 0.05 < 1.00 (6.24)

(Tau z,d/kcr)/f v,d = (0.01/0.67)/1.68 = 0.01 < 1.00 (6.13)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 3.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 3.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 2.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 2.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2

Data : 06/07/22 Página : **6**

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 100 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 6.09/128.00 = 0.48 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 1.95 m	Lambda Y = 42.16	LZ = 1.95 m	Lambda Z = 84.33
Lambda_rel Y = 0.67	ky = 0.74	Lambda_rel Z = 1.34	kz = 1.45
LFY = 1.95 m	kcy = 0.94	LFZ = 1.95 m	kcz = 0.50

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.48/11.52 = 0.04 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.48/(0.50*11.52) = 0.08 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.0 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.0 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.3*0.8)*3 + (0.6+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 101 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 4 Vento 1

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 1.28/128.00 = 0.10 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 17.28 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.90 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.31 m	Lambda Y = 49.92	LZ = 2.31 m	Lambda Z = 99.84
Lambda_rel Y = 0.79	ky = 0.84	Lambda_rel Z = 1.59	kz = 1.83
LFY = 2.31 m	kcy = 0.90	LFZ = 2.31 m	kcz = 0.37

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.10/17.28 = 0.01 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.10/(0.37*17.28) = 0.02 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Data : 06/07/22 Página : **10**

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 102 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16
ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 3.46/128.00 = 0.27 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.80 m	Lambda Y = 60.68		
Lambda_rel Y = 0.97	ky = 1.00		
LFY = 2.80 m	kcy = 0.80		

Em torno do eixo Z:

LZ = 2.80 m	Lambda Z = 121.35		
Lambda_rel Z = 1.93	kz = 2.45		
LFZ = 2.80 m	kcz = 0.25		

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.27/11.52 = 0.02 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.27/(0.25*11.52) = 0.09 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Data : 06/07/22 Página : **12**

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 103 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 5.93/128.00 = 0.46 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 1.95 m	Lambda Y = 42.16	LZ = 1.95 m	Lambda Z = 84.33
Lambda_rel Y = 0.67	ky = 0.74	Lambda_rel Z = 1.34	kz = 1.45
LFY = 1.95 m	kcy = 0.94	LFZ = 1.95 m	kcz = 0.50

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.46/11.52 = 0.04 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.46/(0.50*11.52) = 0.08 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.0 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.0 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.6 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 104 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 4 Vento 1

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16
ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 2.08/128.00 = 0.16 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 17.28 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.90 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.31 m	Lambda Y = 49.92	LZ = 2.31 m	Lambda Z = 99.84
Lambda_rel Y = 0.79	ky = 0.84	Lambda_rel Z = 1.59	kz = 1.83
LFY = 2.31 m	kcy = 0.90	LFZ = 2.31 m	kcz = 0.37

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.16/17.28 = 0.01 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.16/(0.37*17.28) = 0.03 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.8 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 105 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 2.80/128.00 = 0.22 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.80 m	Lambda Y = 60.68		
Lambda_rel Y = 0.97	ky = 1.00		
LFY = 2.80 m	kcy = 0.80		

Em torno do eixo Z:

LZ = 2.80 m	Lambda Z = 121.35		
Lambda_rel Z = 1.93	kz = 2.45		
LFZ = 2.80 m	kcz = 0.25		

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.22/11.52 = 0.02 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.22/(0.25*11.52) = 0.08 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 200 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16
ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES **TENSÕES TOLERÁVEIS**
Sig_c,0,d = N/Ax = 0.23/128.00 = 0.02 MPa f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y: Em torno do eixo Z:

LY = 0.71 m	Lambda Y = 15.43	LZ = 0.71 m	Lambda Z = 30.85
Lambda_rel Y = 0.25	ky = 0.53	Lambda_rel Z = 0.49	kz = 0.63
LFY = 0.71 m	kcy = 1.00	LFZ = 0.71 m	kcz = 0.98

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.02/11.52 = 0.00 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.02/(0.98*11.52) = 0.00 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 0.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 0.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2

Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 201 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 6.46/128.00 = 0.50 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 1.43 m	Lambda Y = 30.85		
Lambda_rel Y = 0.49	ky = 0.63		
LFY = 1.43 m	kcy = 0.98		

Em torno do eixo Z:

LZ = 1.43 m	Lambda Z = 61.70		
Lambda_rel Z = 0.98	kz = 1.02		
LFZ = 1.43 m	kcz = 0.78		

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.50/11.52 = 0.04 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.50/(0.78*11.52) = 0.06 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: Vento 1 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.5 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.5 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4

Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 202 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10



PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 1.24/128.00 = 0.10 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno de eixo Y:

LY = 2.14 m	Lambda Y = 46.28	LZ = 2.14 m	Lambda Z = 92.56
Lambda_rel Y = 0.74	ky = 0.79	Lambda_rel Z = 1.47	kz = 1.64
LFY = 2.14 m	kcy = 0.92	LFZ = 2.14 m	kcz = 0.42



Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.10/11.52 = 0.01 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.10/(0.42*11.52) = 0.02 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.1 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.1 cm Verificado
Caso de carga atuante: Vento 1 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 203 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16
ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 6.26/128.00 = 0.49 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.85 m	Lambda Y = 61.70	LZ = 2.85 m	Lambda Z = 123.41
Lambda_rel Y = 0.98	ky = 1.02	Lambda_rel Z = 1.96	kz = 2.51
LFY = 2.85 m	kcy = 0.78	LFZ = 2.85 m	kcz = 0.25

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.49/11.52 = 0.04 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.49/(0.25*11.52) = 0.17 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.3*0.8)*3 + (0.6+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.9 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Data : 06/07/22 Página : **26**

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 204 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10

PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16
ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 1.89/128.00 = 0.15 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:

Em torno de eixo Y:

LY = 2.14 m	Lambda Y = 46.28	LZ = 2.14 m	Lambda Z = 92.56
Lambda_rel Y = 0.74	ky = 0.79	Lambda_rel Z = 1.47	kz = 1.64
LFY = 2.14 m	kcy = 0.92	LFZ = 2.14 m	kcz = 0.42

Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.15/11.52 = 0.01 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.15/(0.42*11.52) = 0.03 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE

Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 1.1 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 1.1 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.3*0.8)*3 + (0.6+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1*3 + 0.6*4

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 205 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10



PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 7.44/128.00 = 0.58 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno de eixo Y:

LY = 1.43 m	Lambda Y = 30.85	LZ = 1.43 m	Lambda Z = 61.70
Lambda_rel Y = 0.49	ky = 0.63	Lambda_rel Z = 0.98	kz = 1.02
LFY = 1.43 m	kcy = 0.98	LFZ = 1.43 m	kcz = 0.78



Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.58/11.52 = 0.05 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.58/(0.78*11.52) = 0.06 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 0.7 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.5 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.5 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4

Robot Structural Analysis Professional 2023
Autor:
Morada:
Ficheiro: **ANÁLISE COBERTURA_3D 2.rtd**
Projecto: ANÁLISE COBERTURA_3D 2

CÁLCULOS DE ESTRUTURA DE MADEIRA

NORMA: *EN 1995-1:2004/A2:2014*
TIPO DE ANÁLISE: Verificação de membro

GRUPO DE NORMAS:
MEMBRO: 206 **PONTO:** 1 **COORDENADAS:** x = 0.00 L = 0.00 m

CARGAS:
Caso de carga atuante: 2 Revestimento

MATERIAL GL24h

gM = 1.25	f m,0,k = 24.00 MPa	f t,0,k = 19.20 MPa	f c,0,k = 24.00 MPa
f v,k = 3.50 MPa	f t,90,k = 0.50 MPa	f c,90,k = 2.50 MPa	E 0,moyen = 11500.00 MPa
E 0,05 = 9600.00 MPa	G moyen = 650.00 MPa	Classe do serviço: 2	Beta c = 0.10



PARÂMETROS DA SEÇÃO: RETÂNG_8x16

ht=16.0 cm

bf=8.0 cm	Ay=85.33 cm2	Az=85.33 cm2	Ax=128.00 cm2
tw=4.0 cm	Iy=2730.67 cm4	Iz=682.67 cm4	Ix=1873.4 cm4
tf=4.0 cm	Wy=341.33 cm3	Wz=170.67 cm3	

TENSÕES
Sig_c,0,d = N/Ax = 0.29/128.00 = 0.02 MPa

TENSÕES TOLERÁVEIS
f c,0,d = 11.52 MPa

Fatores e parâmetros adicionais
kh = 1.10 kmod = 0.60 Ksys = 1.00



PARÂMETROS DE FLAMBAGEM LATERAL:

PARÂMETROS DE FLAMBAGEM:



Em torno de eixo Y:

LY = 0.71 m	Lambda Y = 15.43	LZ = 0.71 m	Lambda Z = 30.85
Lambda_rel Y = 0.25	ky = 0.53	Lambda_rel Z = 0.49	kz = 0.63
LFY = 0.71 m	kcy = 1.00	LFZ = 0.71 m	kcz = 0.98



Em torno do eixo Z:

FÓRMULAS DE VERIFICAÇÃO:
Sig_c,0,d/f c,0,d = 0.02/11.52 = 0.00 < 1.00 (6.23-4)]
Sig_c,0,d/(kc*f c,0,d) = 0.02/(0.98*11.52) = 0.00 < 1.00 (6.23-4)

DESLOCAMENTOS DE LIMITE



Deflexões (SISTEMA LOCAL):
u fin,y = 0.0 cm < u fin,max,y = L/200.00 = 0.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0*0.8)*4
u fin,z = 0.0 cm < u fin,max,z = L/200.00 = 0.4 cm Verificado
Caso de carga atuante: (1+0.8)*1 + (1+0.8)*2 + (1+0.3*0.8)*3 + (0.6+0*0.8)*4 u inst,y = 0.0 cm < u inst,max,y = L/300.00 = 0.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1*1 + 1*2 + 1.5*4
u inst,z = 0.0 cm < u inst,max,z = L/300.00 = 0.2 cm Verificado
Caso de carga atuante: 1.35*1 + 1.35*2 + 1.5*4

Data : 06/07/22 Página : **32**



Deslocamentos (SISTEMA GLOBAL):

Seção OK !!!

Verificação do grupo de código em madeira

Projeto do grupo de código em madeira