

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Casas de madeira em Portugal
Metodologia de apoio ao projecto de Arquitectura

Volume 2

ANEXOS

Luís Manuel Jorge Morgado

Orientador: Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

Co-Orientadores: Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutora Helena Maria Pires Cruz

**Tese aprovada em provas públicas para obtenção do Grau de Doutor em
Arquitectura**

Qualificação atribuída pelo Júri: Aprovado com distinção

Júri

Presidente: Presidente do Conselho Científico do IST

Vogais:

Doutor Paulo Jorge Sousa Cruz

Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

Doutor Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida

Doutor Vítor Manuel de Matos Carvalho Araújo

Doutor Luís Filipe de Carvalho Jorge

2016

UNIVERSIDADE DE LISBOA
INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Casas de madeira em Portugal
Metodologia de apoio ao projecto de Arquitectura

Volume 2

ANEXOS

Luís Manuel Jorge Morgado

Orientador: Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes

Co-Orientadores: Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Doutora Helena Maria Pires Cruz

**Tese aprovada em provas públicas para obtenção do Grau de Doutor em
Arquitectura**

Qualificação atribuída pelo Júri: Aprovado com distinção

Júri

Presidente: Presidente do Conselho Científico do IST

Vogais:

Doutor Paulo Jorge Sousa Cruz, Professor Catedrático da Escola de Arquitectura da Universidade do Minho

Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira, Professor Associado (com agregação) do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Manuel de Arriaga Brito Correia Guedes, Professor Associado do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Paulo Manuel dos Santos Pereira de Almeida, Professor Auxiliar da Faculdade de Arquitectura da Universidade de Lisboa

Doutor Vítor Manuel de Matos Carvalho Araújo; Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Doutor Luís Filipe de Carvalho Jorge, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco

Instituição financiadora: Fundação para a Ciência e a Tecnologia

2016

Investigação financiada por:

Fundação para a Ciência e a Tecnologia

SFRH/BD/77283/2011

Índice simplificado - Anexos

I	TRADIÇÕES REGIONAIS DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA	1
I.A	Primeiros vestígios de construções em madeira	1
I.B	Europa.....	5
I.C	América do Norte.....	33
I.D	Extremo Oriente.....	46
I.E	Outras regiões	62
II	A MADEIRA COMO MATERIAL	65
II.A	A árvore.....	65
II.B	Aspectos visuais	73
II.C	Propriedades da madeira	79
II.D	Durabilidade da madeira	87
II.E	Resistência ao fogo	91
II.F	Tecnologia da madeira	92
II.G	Produtos.....	93
II.H	A floresta	96
II.I	Argumentos de utilização	99
III	SOLUÇÕES DE ARQUITECTURA DE CASAS DE MADEIRA	104
III.A	Enquadramento	104
III.B	Tipos de projecto	106
III.C	Soluções enquadradas por empresas nacionais.....	106
III.D	Conclusões	129
IV	EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	131
IV.A	Uso (Capacidade, Funcionalidade, Acessibilidade)	131
IV.B	Conforto (Higrotérmico, Qualidade ar, Acústico, Visual)	135
IV.C	Segurança estrutural	143
IV.D	Segurança contra riscos de incêndio	157
IV.E	Acústica.....	157
IV.F	Ambiente (Resíduos de construção, Sistemas de avaliação).....	158
IV.G	Durabilidade.....	165
IV.H	Estética (Material, Património, Paisagem)	176
IV.I	Processo (Produtos, Pré-fabricação, Transporte)	178
IV.J	Avaliação de estruturas existentes	180
V	CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS	183
V.A	Levantamento - Classificação dos sistemas	183
VI	MODELOS FORMAIS.....	199
VI.A	Exemplos de tipos simbólicos.....	199
VI.B	Exemplos de tipos funcionais - Capacidade	211
VI.C	Exemplos de tipos funcionais - Morfologia.....	212
VI.D	Exemplos de tipos espaciais - Planimetria.....	213
VII	INQUÉRITO ÀS EMPRESAS	219
VII.A	Formulário da entrevista às empresas	219
VIII	CITAÇÕES.....	242
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	244
	ÍNDICE DAS FIGURAS.....	252
	ÍNDICE DE TABELAS.....	258

Índice completo - Anexos

I	TRADIÇÕES REGIONAIS DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA.....	1
I.A	PRIMEIROS VESTÍGIOS DE CONSTRUÇÕES EM MADEIRA.....	1
I.B	EUROPA	5
I.B.1	Norte da Europa	5
I.B.2	Reino Unido	12
I.B.3	Holanda	18
I.B.4	França	20
I.B.5	Europa Central.....	23
I.B.6	Europa de Leste e Sudeste	27
I.B.7	Europa do Sul	32
I.C	AMÉRICA DO NORTE.....	33
I.C.1	Estados Unidos da América.....	33
I.C.2	Canadá.....	42
I.D	EXTREMO ORIENTE.....	46
I.D.1	China	47
I.D.2	Japão.....	50
I.D.3	Sudeste asiático	56
I.E	OUTRAS REGIÕES.....	62
II	A MADEIRA COMO MATERIAL	65
II.A	A ÁRVORE	65
II.A.1	Nível microscópico	66
II.A.2	Anéis de crescimento	68
II.A.3	Parênquima lenhoso	68
II.A.4	Raios lenhosos	68
II.A.5	Classificação sistemática	69
II.A.6	Estrutura celular.....	70
II.A.7	Espécies resinosas.....	70
II.A.8	Espécies folhosas.....	71
II.B	ASPECTOS VISUAIS	73
II.B.1	Tipos de corte no tronco.....	73
II.B.2	Grão	74
II.B.3	Porosidade.....	74
II.B.4	Textura	74
II.B.5	Fio da madeira.....	75
II.B.6	Veio da madeira.....	75
II.B.7	Cor, Brilho, Cheiro	75
II.B.8	Cerne e Borne	75
II.B.9	Estrutura dos anéis de crescimento e raios lenhosos	76
II.B.10	Nós	77
II.B.11	Deficiências.....	77
II.B.12	Identificação da madeira	78
II.C	PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	79

II.C.1	Propriedades químicas	79
II.C.2	Propriedades físicas	80
II.C.3	Propriedades mecânicas	83
II.D	DURABILIDADE DA MADEIRA	87
II.D.1	Biodegradação	88
II.D.2	Agentes atmosféricos	90
II.E	RESISTÊNCIA AO FOGO	91
II.F	TECNOLOGIA DA MADEIRA	92
II.F.1	Secagem	92
II.F.2	Tipos de corte (serragem)	92
II.G	PRODUTOS	93
II.G.1	Madeira maciça	93
II.G.2	Produtos derivados de madeira para usos estrutural	94
II.G.3	Placas de derivados de madeira	95
II.G.4	Painéis	95
II.G.5	Componentes compostos	95
II.G.6	Processos de modificação	95
II.H	A FLORESTA	96
II.I	ARGUMENTOS DE UTILIZAÇÃO	99
III	SOLUÇÕES DE ARQUITECTURA DE CASAS DE MADEIRA	104
III.A	ENQUADRAMENTO	104
III.B	TIPOS DE PROJECTO	106
III.C	SOLUÇÕES ENQUADRADAS POR EMPRESAS NACIONAIS	106
III.C.1	JULAR	106
III.C.2	CASEMA	111
III.C.3	CARMO	113
III.C.4	RUSTICASA	114
III.C.5	TOSCCA	117
III.C.6	MODULAR SYSTEM	118
III.C.7	PORTILAME	120
III.C.8	IMOWOOD	120
III.C.9	TISEM	123
III.C.10	NOVOHABITAT	124
III.C.11	LACECAL	126
III.C.12	IDEAWOOD	126
III.C.13	ALCOMATE	127
III.C.14	CASA MIMA	127
III.C.15	CASAS EM MOVIMENTO	128
III.D	CONCLUSÕES	129
IV	EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES	131
IV.A	USO (CAPACIDADE, FUNCIONALIDADE, ACESSIBILIDADE)	131
IV.A.1	Regulamento Geral das Edificações Urbanas	131
IV.A.2	Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação	133
IV.A.3	Regime da Acessibilidade aos Edifícios e Estabelecimentos	134
IV.B	CONFORTO (HIGROTÉRMICO, QUALIDADE AR, ACÚSTICO, VISUAL)	135

IV.B.1	Conceitos	135
IV.B.2	Conforto higro-térmico / Desempenho energético	138
IV.B.3	Qualidade do ar	142
IV.C	SEGURANÇA ESTRUTURAL	143
IV.C.1	Método de cálculo de estruturas de madeira	143
IV.C.2	Classes de serviço e duração das acções	144
IV.C.3	Cálculo estrutural	145
IV.C.4	Regulamentação de estruturas	146
IV.C.5	Medição das singularidades da madeira	146
IV.C.6	Classificação das madeiras	152
IV.C.7	Tipos de terreno	156
IV.D	SEGURANÇA CONTRA RISCOS DE INCÊNDIO	157
IV.D.1	Resistência ao fogo	157
IV.D.2	Protecção ao fogo	157
IV.E	ACÚSTICA	157
IV.F	AMBIENTE (RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO, SISTEMAS DE AVALIAÇÃO)	158
IV.F.1	Resíduos de construção	159
IV.F.2	Sistemas de certificação da construção	159
IV.F.3	Certificação florestal	164
IV.G	DURABILIDADE	165
IV.G.1	Medidas construtivas	167
IV.G.2	Classes de durabilidade	170
IV.G.3	Classes de risco	171
IV.G.4	Exigências de durabilidade	173
IV.G.5	Preservação	173
IV.G.6	Projecto de durabilidade	175
IV.H	ESTÉTICA (MATERIAL, PATRIMÓNIO, PAISAGEM)	176
IV.H.1	Critérios de classificação visual (usos não estruturais)	176
IV.I	PROCESSO (PRODUTOS, PRÉ-FABRICAÇÃO, TRANSPORTE)	178
IV.I.1	Produtos de construção	178
IV.I.2	Casas pré-fabricadas	179
IV.I.3	Transporte de estruturas	180
IV.J	AVALIAÇÃO DE ESTRUTURAS EXISTENTES	180
V	CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS	183
V.A	LEVANTAMENTO - CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS	183
V.A.1	Critérios de classificação	183
V.A.2	Classificações clássicas	188
V.A.3	Classificações abrangentes	189
V.A.4	Classificações simples	190
V.A.5	Critério da geometria e forma da estrutura	190
V.A.6	Critério do comportamento estrutural	192
V.A.7	Critério do peso	193
V.A.8	Critério da massa	193
V.A.9	Critério do processo	195
V.A.10	Critério dimensão dos elementos	195
V.A.11	Critério do material	195

V.A.12	Ambiguidades	195
V.A.13	Terminologias em Português	196
VI	MODELOS FORMAIS.....	199
VI.A	EXEMPLOS DE TIPOS SIMBÓLICOS.....	199
VI.A.1	Tipo tradicional introvertido rústico	199
VI.A.2	Tipo tradicional introvertido urbano	200
VI.A.3	Tipo tradicional extrovertido rústico	201
VI.A.4	Tipo tradicional extrovertido URBANO	201
VI.A.5	Tipo contemporâneo introvertido rústico	202
VI.A.6	Tipo contemporâneo introvertido urbano	203
VI.A.7	Tipo contemporâneo extrovertido rústico	204
VI.A.8	Tipo contemporâneo extrovertido urbano	205
VI.A.9	Tipo moderno introvertido rústico	206
VI.A.10	Tipo moderno introvertido urbano.....	207
VI.A.11	Tipo moderno extrovertido rústico	208
VI.A.12	Tipo moderno extrovertido urbano	209
VI.A.13	Tipos Complexos: Orgânicos, Expressionistas, Racionais	210
VI.B	EXEMPLOS DE TIPOS FUNCIONAIS - CAPACIDADE	211
VI.B.1	Tipos T0 e T1	211
VI.B.2	Tipos T2 e T3.....	211
VI.B.3	Tipos T4 e superior.....	211
VI.C	EXEMPLOS DE TIPOS FUNCIONAIS - MORFOLOGIA	212
VI.C.1	Tipos de 1 piso	212
VI.C.2	Tipos de 1 piso e Cave.....	212
VI.C.3	Tipos de 2 pisos e 2 PISOS COM CAVE.....	212
VI.C.4	Tipos de 3 pisos e 3 pisos com cave.....	212
VI.D	EXEMPLOS DE TIPOS ESPACIAIS - PLANIMETRIA	213
VI.D.1	Planta Triangular	213
VI.D.2	Planta quadrada	213
VI.D.3	Planta em outros polígonos regulares.....	213
VI.D.4	Planta rectangular	214
VI.D.5	Planta em Z.....	214
VI.D.6	Planta em T.....	214
VI.D.7	Planta em Cruz	215
VI.D.8	Em pátio.....	216
VI.D.9	Vários pátios	217
VI.D.10	Fragmentos ligados	217
VI.D.11	Outras configurações	217
VII	INQUÉRITO ÀS EMPRESAS	219
VII.A	FORMULÁRIO DA ENTREVISTA ÀS EMPRESAS	219
VII.A.1	Empresa.....	219
VII.A.2	Clientes	219
VII.A.3	Processo de construção.....	220
VII.A.4	Método e concepção de projecto	220
VII.A.5	O papel do arquitecto	221
VII.A.6	Escolha e avaliação de sistemas estruturais	222
VII.A.7	Comparação de sistemas estruturais.....	223
VII.A.8	Processo de projecto.....	224

VII.A.9 Entrevista concluída	224
VII.A.10 Resultados e gráficos da entrevista	225
VIII CITAÇÕES	242
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	244
ÍNDICE DAS FIGURAS	252
ÍNDICE DE TABELAS	258

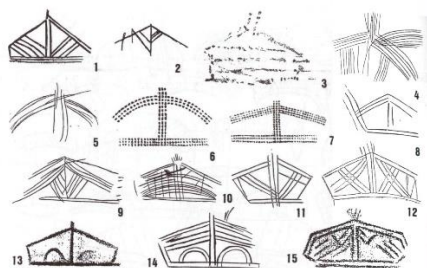


Fig. 1 - Representações tectiformes pré-históricas encontradas em diversas grutas (<http://nicole.rolin.pagesperso-orange.fr/prehistoire/Pages/Les%20tectiformes.htm>).

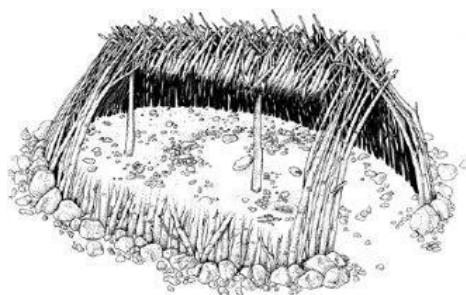


Fig. 2 - Conjectura sobre abrigos do Homo Erectus em Nice, França (<http://www.studyblue.com/notes/note/n/hist-of-arch-midterm/deck/798>).

I TRADIÇÕES REGIONAIS DA CONSTRUÇÃO EM MADEIRA

I.A Primeiros vestígios de construções em madeira

A madeira, a pedra e a terra foram os materiais estruturais imediatamente disponíveis para que o homem procedesse à sua actividade construtiva como alternativa aos abrigos proporcionados pela natureza. Como foi sublinhado no capítulo 1 da tese, as formas construídas são explicadas pelos materiais locais, pelo clima e pela cultura de cada comunidade humana. No Paleolítico Superior o Homem constrói já habitações onde em muitos casos a madeira será o material estrutural principal. Os exemplos escolhidos pela maior parte dos autores das “Histórias da Arquitectura” para descrever as supostas primeiras habitações coincidem com sistemas de reticulados básicos de elementos vegetais complementados com outros materiais de revestimento.

Na obra “History of the house” Camesasca (1971, p. 20) sugere que o Homem do paleolítico poderia combinar a habitação nas cavernas com abrigos mais leves no Verão. Gravuras “tectiformes” surgem em cavernas de Espanha e França levando a concluir que estas estruturas deveriam ser porticadas e com uma cobertura inclinada (cf. figura 1). As conclusões dos historiadores são muitas vezes meras hipóteses, mas independentemente de todas as conjecturas que se possam fazer, é racional afirmar que os primeiros abrigos construídos não seriam muito diferentes daqueles que os primitivos actuais constroem. Rapoport (1969, p. 106) considera mesmo que todos os princípios estruturais estão já presentes na construção primitiva e vernacular: a construção maciça, a reticulada e as estruturas de tensão. O objectivo fundamental da construção mantém-se constante ao longo dos tempos: “encerrar um espaço, e cobri-lo”.

Segundo Benedetti & Bacigalupi (1988) os primeiros vestígios de habitações realizadas inteiramente pelo homem encontram-se no Paleolítico Médio e seriam habitações do tipo tenda e cabana, cobertas com peles e ramos ou troncos de reduzida secção. Kostov (1995) em “A History of Architecture - Settings and rituals” selecciona como exemplo do “primeiro abrigo” uma cabana de reticulados leves básicos, conjecturalmente reconstruída e atribuída a cerca de 400.000 AC¹. Vestígios de cabanas deste tipo surgem em Terra Amata (perto de Nice, França) e teriam uma forma oval, com o eixo maior entre os 8,00m e 15,00m e o eixo menor entre 4,00m a 6,00m (cf. figura 2). A sua construção era realizada com ramos cravados na areia e flectidos para se juntarem numa cumeeira suportada por postes interiores. O endurecimento dos ramos a enterrar seria realizado através do fogo e os instrumentos utilizados no fabrico dos componentes seriam de pedra (sílex e calcário).

¹ Outros autores rejeitam esta hipótese.

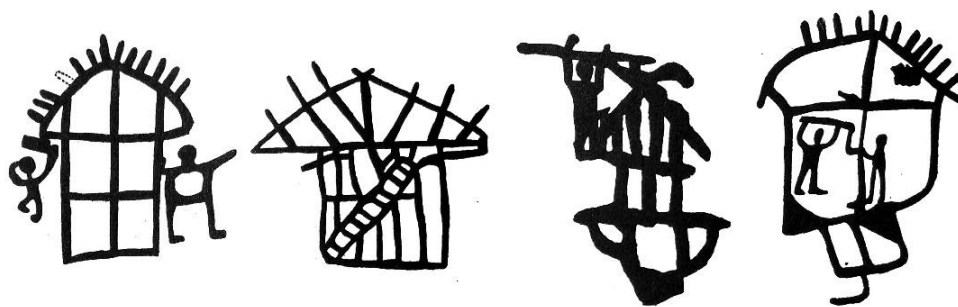


Fig. 3 - Gravuras de Val Camonica representando estruturas porticadas e reticuladas (Camesasca, 1971).

Camesasca (1971), identifica o início do processo de desenvolvimento do Homem com a sua capacidade para construir abrigos, quando há cerca de cinquenta milénios os caçadores de mamutes da Europa central repartiram a sua habitação entre os abrigos de Inverno (escavados e cobertos de ramos e terra) e as tendas leves de Verão. As pistas seguintes apontam para abrigos ovais com vestígios de reticulados leves de madeira que seriam cobertos com ramos, encontrando-se numa fase posterior abrigos com estruturas porticadas mais robustas utilizando postes de 3" (7,6 cm) de diâmetro. Cerca de 8.000 AC começam-se a formar comunidades mais consistentes e surgem os abrigos elevados do solo (Camesasca, 1971). As primeiras construções erguidas em estacas-pilares, de grande secção cravados no solo, datam do Mesolítico (entre cerca de 12.000 AC - 3.500 AC), sendo as regiões Alpinas² muito propícias ao desenvolvimento desta técnica devido às condicionantes geográficas das bacias dos rios e dos terrenos pantanosos (Benedetti & Bacigalupi, 1988). Na Europa Centro-Setentrional do Neolítico encontra-se já uma cultura com o conhecimento técnico para construir casas de madeira, com coberturas inclinadas e técnicas primitivas de ligações macho-fêmea (Firrone, 2010) (Provost, 2010).

As representações de um povoado Neolítico (cerca de 2.000 AC) em Val Camonica (cf. figura 3) mostram com alguma clareza o tipo de estruturas porticadas ou reticuladas que eram utilizadas (Camesasca, 1971, p. 20). Os porticados pesados deverão corresponder a uma fase importante na História da construção em madeira porque racionalmente sugerem uma construção com planta rectangular contribuindo para o abandono das geometrias circulares ou ovais que surgiam anteriormente associadas aos reticulados leves. Kostov descreve aquele que seria o abrigo típico do Neolítico:

"The settlers normally lived in small individual houses of timber and mud. The timber posts stood in holes dug in the ground and were braced at the top by the roof beams. Boughs were woven through the posts to complete the walls of the house, and the gaps were filled with mud. The roof was pitched to shed rain and snow, and was covered with thatch and turf." (Kostov, 1995, p. 27).

Com a idade do Bronze (na Europa 3.000 AC - 1.000 AC) e de forma mais notável com a idade do Ferro (na Europa a partir de 1.000 AC), os construtores passam a ter à sua disposição ferramentas cada vez mais eficazes, cortantes e duráveis, proporcionando um aperfeiçoamento das ligações entre os componentes das estruturas.

Não se deve no entanto sobrevalorizar o papel da madeira na história da construção uma vez que no segundo milénio antes de Cristo, ao mesmo tempo que os abrigos Neolíticos de madeira e os monumentos de pedra se desenvolviam na Europa, já estavam estabelecidos no Oriente, na Mesopotâmia e no Egipto, dois pólos de civilização muito avançados baseadas nas tecnologias do tijolo e da alvenaria. Porém, nos abrigos do tipo temporário relacionados principalmente com os povos nómadas, bem como nos componentes auxiliares das

² Para além das estruturas em madeira das zonas Alpinas, pode-se referir também as construções dos povoados fortificados Terramare da planície do Pó da Idade do Bronze média e recente (cerca de 1.650-1.170 AC).

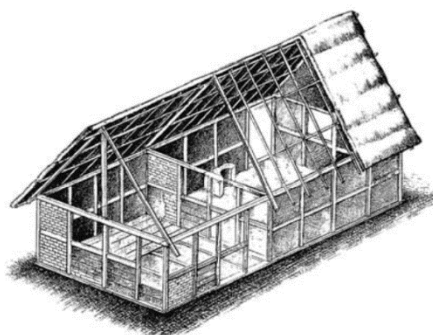


Fig. 4 - Reconstituição de uma *canabae* (habitação) de Argentorom, segundo T. Logel ([http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20\(70\).pdf](http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20(70).pdf)).

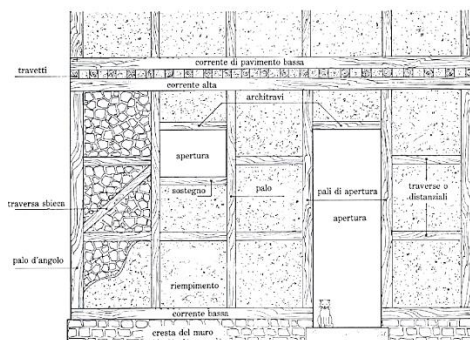


Fig. 5 - *Opus craticium* romano (<https://www.yumpu.com/it/document/view/15931958/opus-craticium-universita-degli-studi-di-firenze>).

construções com alvenarias e com terra, a madeira acabaria por ter sempre uma presença importante, especialmente nas estruturas da cobertura e do pavimento.

Na América do Norte, os povos nativos aperfeiçoaram os seus abrigos aos modos de vida, integrando quase sempre a madeira nas suas soluções. Os nómadas das planícies (como os Sioux), apuraram várias famílias tipológicas de *tipis* que consistiam num reticulado de elementos de madeira cravados no solo, estruturados segundo uma forma cónica, revestida com peles animais ou com têxteis. Em contraste, os Haida que viviam nos arquipélagos de British Columbia e nas ilhas Queen Charlotte, desde há cerca de 10.000 anos construíram as suas casas de habitação permanente com reticulados pesados em madeira de Cedro vermelho. Estes reticulados com componentes de grande dimensão consistiam em grandes pórticos, preenchidos com pranchas que contribuíam para a rigidez de toda a estrutura. Surgiam nestas comunidades dois tipos de casa, a de duas vigas e a de oito vigas, sendo esta última a mais sofisticada. As casas organizadas em redor de um espaço central podiam ter cerca de 6,00mx9,00m e abrigavam 30 a 40 familiares. As maiores podiam ter 15,00mx18,00m e abrigar o dobro das pessoas (May, *Handmade houses*, 2010a). No Leste, os Iroqueses desenvolveram a *long-house*, com uma estrutura reticulada leve e os Algonquinos, com um modo de vida mais nómada o *wigwam* unifamiliar ou bifamiliares com cerca de 3,50m a 4,50m de diâmetro (Kalman, 1995). Na América central pré-colombiana as cabanas Maias do Homem comum eram construídas com sistemas porticados básicos, paredes de ramos entrelaçados revestidas com terra e cobertura de colmo. As ligações entre postes e vigas seria realizada com base em componentes em forma de forquilha. Os Maias mais prósperos com maior estatuto escolheriam casas construídas com tijolos secos ao sol (Camesasca, 1971).

Embora em Roma, tal como nas outras regiões do Mediterrâneo, os materiais de construção dominantes fossem a pedra e o tijolo (embora nas coberturas e pavimentos a madeira dominasse naturalmente) (Hansen, 1971, p. 18), nos edifícios de habitação, os reticulados e porticados de madeira eram um método usual de construção para edifícios de habitação. Para além dos porticados com postes cravados no solo, de que são exemplo as cabanas do Palatino do século 8 AC (Camesasca, 1971), encontram-se vestígios da tradição de construção em madeira da Idade do Bronze e do Ferro em Itália (1800 AC - 1000 AC), onde existiam já estruturas de reticulados com painéis preenchidos de ramos entrelaçados e terra (Ulrich, 2007). O *opus craticium*, que poderá ter sido importado da Ásia Menor, terá nascido de uma evolução da construção mais simples de painéis reticulados leves de vime entrelaçados que eram utilizados numa forma simplificada de construção. O sistema de *opus craticium* consistia num reticulado pesado de componentes de secção quadrada de madeira em que os painéis eram preenchidos com betão e pedras (cf. figuras 4 e 5). Vitruvius no seu

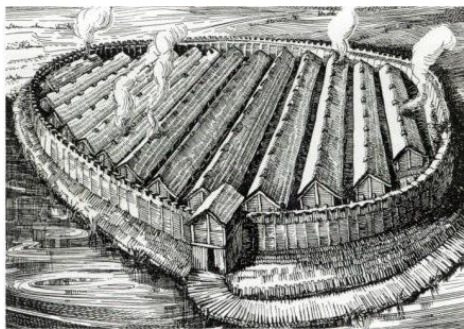


Fig. 6 - Biskupin, Polónia - Aldeia fortificada em madeira (750-500 AC).

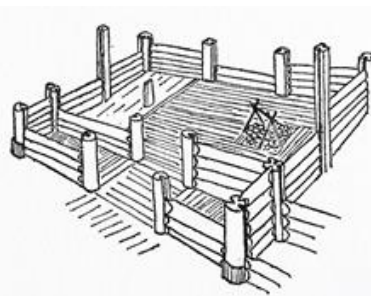


Fig. 7 - Estrutura de paredes pesadas em Biskupin, Polónia (Hansen, 1971).

tratado criticou o sistema porque considerava que, embora fosse uma solução rápida e económica, a estrutura de madeira exposta era muito vulnerável ao fogo. Este sistema no entanto era muitas vezes revestido com argamassas, processo também criticado por Vitruvius pelos riscos de degradação causados pela retracção diferencial dos diferentes materiais. Em Herculano e Pompeia foram encontrados vários exemplos do sistema, particularmente o da casa Graticium que terá resistido em boas condições aos sismos posteriores à erupção do Vesúvio (Ulrich, 2007).

As tribos bárbaras que invadiram depois o Império Romano (migrações ocorridas entre 300 DC e 700 DC) provinham de zonas densamente arborizadas. Os territórios conquistados em geral teriam menos recursos florestais obrigando esses povos a abandonar as suas tradições e a aprender os métodos romanos da construção maciça que eram muito utilizados na construção militar e nos edifícios públicos. No entanto em zonas da Europa Central, com uma floresta rica, as tradições de construção em madeira mantiveram-se. Foi só após o final do século VIII, (Renascimento Carolíngio) que se começaram a construir edifícios de maior dimensão noutros materiais que não a madeira. As escavações arqueológicas em zonas germânicas, célticas e eslavas são reveladoras do conhecimento técnico da construção em madeira que esses povos desenvolveram de forma independente. É exemplar a cidade de Biskupin na Polónia onde cerca de 700 AC se desenvolvia um conjunto urbano rodeado de bastiões de madeira, com ruas pavimentadas com toros e mais de uma centena de habitações construídas com um sistema de paredes pesadas de postes verticais com entalhes para preenchimento com toros horizontais (cf. figuras 6 e 7). Também de interesse são os vestígios de casas datadas de início da era cristã em Feddersen Wierde perto de Bremerhaven por revelarem um domínio muito grande da tecnologia da madeira integrando a utilização de cavilhas, cunhas e diversos métodos de ligação (mecha e respiga) para os elementos estruturais e revestimentos (Hansen, 1971, p. 21).

A importância da construção em madeira na cidade Medieval é sublinhada por Camesasca referindo que as cabanas e as casas de madeira formaram as cidades europeias iniciais, envolvidas muitas vezes em robustas muralhas de pedra e rodeando catedrais e igrejas também de pedra. A construção medieval urbana Europeia seria dominada pelos reticulados pesados, e as coberturas pelos revestimentos de colmo. A fragilidade destas habitações cuja combustibilidade era uma das suas grandes fragilidades parece ser justificável (para o autor) pelo período de inconstância em que se vivia:

"(...) they could be quickly destroyed and as quickly rebuilt. They were expendable in war and if they survived in peace were liable to fall down, eventually through neglect." (Camesasca, 1971, p. 26).

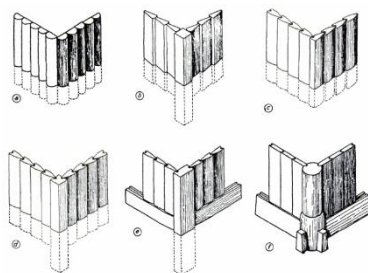


Fig. 8 - Modalidades de estruturas de paredes leves (Chapelot & Fossier, 1985).

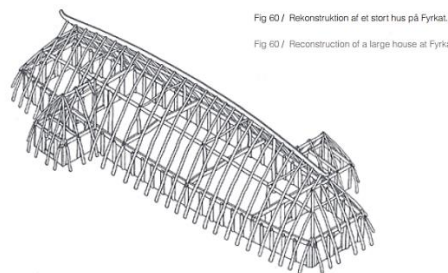


Fig. 9 - Reconstrução de uma "casa grande em Fyrkat, Dinamarca (Hvass, 2011).

I.B Europa

Pode-se descrever sinteticamente o habitat na Europa depois da Idade do Ferro dividindo-o em duas regiões classificadas em função dos recursos florestais e do uso da madeira. Em redor do Mediterrâneo, com uma floresta relativamente escassa, embora os Gregos e os Romanos utilizassem a madeira na construção, dominava a alvenaria de pedra e tijolo. No Norte os recursos florestais eram mais abundantes dominando por isso a madeira. Por sua vez, na Europa do Norte podem distinguir-se outras duas regiões em função do tipo de recursos florestais dominantes. Os habitantes da Europa de Leste, da Escandinávia e das regiões montanhosas, com florestas ricas em coníferas altas e com troncos rectos, desenvolvem predominantemente as paredes pesadas de toros sobrepostos horizontalmente. Os habitantes da Europa Ocidental e Central, habitando regiões mais ricas em folhosas concentram-se nas estruturas de reticulados pesados de madeira, sendo neste caso utilizados componentes mais curtos, até 2,00m a 3,00m (Provost, 2010). As estruturas de porticados pesados (cf. figura 9) terão sido sempre uma alternativa aos outros sistemas, principalmente nas tipologias funcionais onde era necessário criar espaços amplos como acontecia com os estábulos. As estruturas de paredes leves com pilares e pranchas (cf. figura 8) surgem em algumas regiões (Alpes, Alemanha, Escandinávia, Polónia) (Chapelot & Fossier, 1985), mas não parecem ter criado uma tradição tão consistente como as restantes.

I.B.1 NORTE DA EUROPA

A História da Escandinávia³ é feita dos mais variados tipos de aliança entre os países que a compõem (Hansen, 1971, p. 23), implicando por isso uma grande permeabilidade cultural entre as diferentes regiões. Grande parte da sua identidade comum está relacionada com a cultura religiosa da Igreja Protestante, dominante a partir do século XVI. Donnelly (1992, p. 212) descreve a arquitectura vernacular Escandinava apresentando de forma organizada os edifícios rurais de porticados da Dinamarca e do sul da Suécia, seguidos dos edifícios de paredes pesadas de toros do norte da Suécia, Noruega e Finlândia e conclui com os edifícios de pedra e de turfa das ilhas atlânticas da Islândia. Segundo Pryce (2005), apesar de se encontrarem na região outros materiais, a madeira é o material de eleição, existindo quatro diferentes técnicas de construção: os porticados com postes ou pranchas verticais (construção **stave**⁴); as paredes pesadas de troncos; as paredes leves de pranchas e montantes; e os reticulados pesados. Na Noruega a construção do tipo **stave** terá dominado durante a Idade Média, até ser ultrapassada pela construção em toros (cf. figura 10). Na Suécia da Idade Média assistiu-se a uma presença equilibrada de ambos os sistemas, até suceder o mesmo que na Noruega. Na Finlândia, a construção em toros terá sido sempre a

³ A Escandinávia inclui a Suécia, a Noruega e a Dinamarca. A Finlândia, Islândia, as Ilhas Faroé e a Gronelândia em conjunto com os países Escandinavos forma um conjunto designado por países Nórdicos.

⁴ As igrejas **stave** serão os edifícios mais antigos conservados na Noruega. São construídas com paredes de postes verticais de um modo muito diferente do utilizado nos edifícios de habitação. (Hansen, 1971, p. 23).



Fig. 10 - Princípios estruturais na Noruega: estrutura mista, paredes pesadas de toros e construção porticada (Hansen, 1971).

dominante, parecendo ser esta a técnica que é de facto partilhada por toda a Escandinávia. O processo mais simples para ligar os diversos toros consistia em fazer um entalhe na face superior ou inferior de um tronco⁵, onde o seguinte iria encaixar. (Pryce, 2005, p. 70). Em situações especiais, ou de maior prestígio, como no caso das igrejas, executavam-se as ligações com encaixes em cauda de andorinha, não se projectando neste caso os topos para o exterior. A partir do século XIX este tipo de ligações passou a ser executado também em edifícios não religiosos. Com o desenvolvimento das serras accionadas hidraulicamente, passam a produzir-se as pranchas e os perfis que permitem revestir fachadas, ocultando muitas vezes o sistema estrutural (Pryce, 2005, p. 73).

Escavações em quatro cidades Vikings na Dinamarca (Trelleborg-Zealand, Nonnenbakken-Fünen, Fyrkat e Aggersborg-Jutland) revelaram vestígios em que dominam as “casas de talude” datadas de cerca do ano 1.000 DC. Entre as construções circulares dominantes ergue-se um pequeno grupo de casas rectangulares de grande dimensão cujos negativos dos postes de madeira permitem conjecturar sobre a forma das construções. A existência de duas filas de negativos alinhados de cada lado sugerem uma estrutura principal de cobertura inclinada arqueada e num segundo alinhamento interior seria então erguida a estrutura da parede de fechamento espacial (Hansen, 1971, p. 62).

Em Arhus na Dinamarca, os vestígios de um outro povoado Viking surge com construções de paredes pesadas de toros horizontais ligados por encaixe a postes verticais com grande semelhança ao sistema encontrado em Biskupin (Clayton, 1990, p. 78). A partir do século XII, o sistema de postes e pranchas designado na Dinamarca como *bulhus* passou a ser amplamente utilizado, desaparecendo nos finais do século XVIII. Na Suécia, durante o século XVI utilizaram-se simultaneamente o sistema de toros, o sistema de pranchas (*sleppvegg* ou *skiftesverk* na Suécia) e o sistema de reticulados pesados. Terá sido a depleção crescente das florestas que terá levado a procurar novos processos de construção. Na Dinamarca por exemplo, o sistema *bulhus* foi banido por decreto real por três vezes (1554, 1577 e 1773), embora na prática tenha continuado a ser utilizado em algumas regiões (Clayton, 1990).

Nos vestígios das casas Norueguesas da Idade do Ferro (500 AC - 500 DC) encontraram-se os negativos dos postes de madeira cravados no solo. A estrutura destas casas seria mista, integrando postes de madeira e terra, turfa ou outros materiais de fechamento. As casas posteriores seriam construídas a partir dos dois princípios dominantes, já referidos: as estruturas de porticadas (segundo Hansen, os edifícios pré-históricos seriam uma versão básica desta técnica) e as estruturas de paredes pesadas de toros horizontais (conhecidas na Noruega como técnica *lafte*) (Hansen, 1971, p. 23). A técnica dos toros com madeira de coníferas pode ter sido introduzida a partir do leste da Europa. O uso dos toros terá tido como consequência algumas alterações nas tipologias funcionais e espaciais: as habitações que antes eram partilhadas com o gado (as chamadas *skaale*) especializam-se para apenas um tipo de uso, diminuindo-se assim a sua dimensão. As áreas dos espaços de cada construção

⁵ O entalhe inferior era preferível pela maior garantia de durabilidade e estanquidade que oferecia, evitando a tendência para a acumulação de água na ligação ao contrário do que acontecia no caso do entalhe superior.

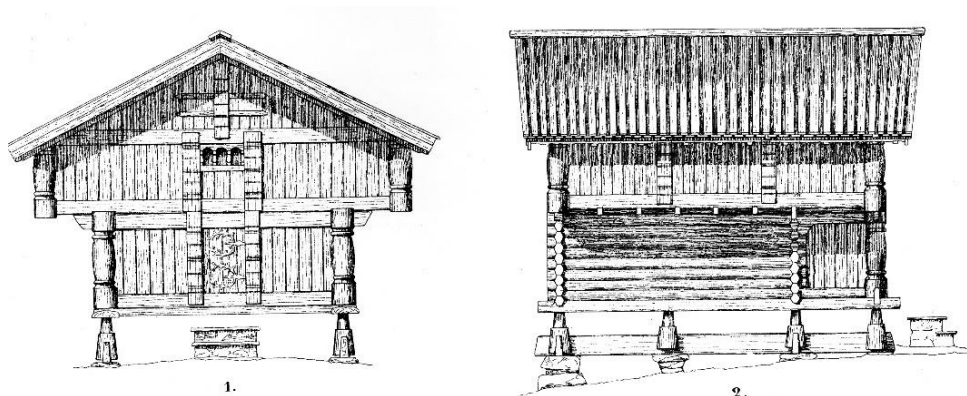


Fig. 11 - Stabbur em Figjan Numedal Norway - in Nicolay Nicolaysen (1817-1911): Kunst og Haandverk i Norges Fortid (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stabbur_in_Figjan_Numedal_Norway_drawing.jpg).

passaram a ser limitadas pela dimensão dos toros, fomentando-se assim a construção de diversos edifícios separados e funcionalmente especializados: a habitação, a cozinha, o armazém, o alojamento de gado e animais, etc. (Hansen, 1971, p. 24).

Em zonas com mais escassez de árvores ou onde o isolamento não era tão necessário recorria-se à técnica dos porticados cuja utilização persistiu lado a lado com a técnica dos toros horizontais. O sistema de porticados consistiria em construir unidades de pórticos no solo com dois pilares, uma viga e escoras entre viga e pilares. As paredes eram revestidas com pranchas fixadas directamente nos postes ou era construída em alternativa uma parede exterior independente de madeira ou de outro material, dando origem normalmente a uma repartição espacial interior com 3 naves (Hansen, 1971, p. 24). O sistema porticado era escolhido para as situações em que se pretendiam maiores dimensões no espaço interno ou em que as exigências de estanquidade e isolamento não eram tão importantes. Será por esse motivo que em determinadas regiões, os porticados eram utilizados mais para armazéns e outras construções em que a ventilação e um ambiente interior com teores de humidade semelhantes aos do ambiente exterior eram recomendáveis, como acontecia em particular com os armazéns de barcos. Os edifícios construídos com toros, pela sua estanquidade e isolamento seriam preferencialmente destinados a alojar pessoas, animais e produtos agrícolas e alimentares proporcionando uma maior protecção dos roedores (Sunnfjord Museum, 2014).

Na **Noruega** há vestígios do uso de toros (técnica “*lafte*”) desde o ano 1.000 DC, mas o seu uso terá sido generalizado só depois da peste negra (1349) (Pryce, 2005, p. 85). A construção de paredes pesadas em toros seria muito exigente em termos de carpintaria porque estes deveriam ser montados e “ligados” com precisão uns sobre os outros sendo as ligações nos cantos complexas de executar⁶ (Hansen, 1971, p. 44). A complexidade desta técnica resultava não só da dificuldade em conseguir obter juntas precisas, mas também do processo de retracção e assentamento da madeira que demoraria cerca de um ano a estabilizar. O assentamento provocado pela retracção da madeira e pela acção do peso próprio dos elementos de construção, tornavam em princípio as ligações mais estanques e só após este processo é que deveriam, idealmente, ser abertos os vãos. Este fenómeno exigia a execução de entalhes nos topos dos vãos para permitir que os diferentes componentes da construção (portas, janelas, paredes interiores) “absorvessem” os movimentos próprios da madeira

⁶ Dos vários métodos de ligação dos cantos nem todos são eficazes e rigorosos. As poucas construções de casas de toros (stove) sobreviventes da idade média devem ter tido uma qualidade de execução acima da média.

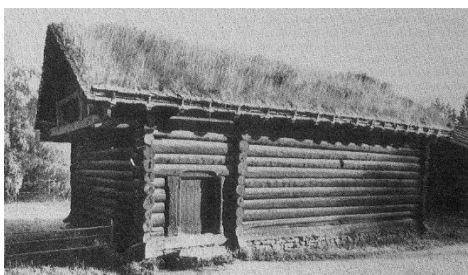


Fig. 12 - Stove de Rauland, Uvdal, no Leste da Noruega (séc. X-XI) Planta com três compartimentos com loft (Skre, 1996).



Fig. 13 - Loft de 1681 em Valle, Setesdal 1890s (<http://polarbearstale.blogspot.pt/2012/05/setesdal-norway.html>).

(Pryce, 2005, p. 85) evitando-se desse modo as fissuras e as fracturas que muitas vezes ocorriam.

O edifício básico e mais importante das quintas onde dominava a construção de paredes pesadas era o pequeno edifício de habitação, a **stove** (cf. figura 12). O piso térreo tinha uma sala principal e um ou dois compartimentos complementares. A lareira estava ao centro da sala com uma abertura sobre ela que podia ser fechada com uma pele de animal (na Idade Média apareceu outro tipo de lareira, localizado num canto perto da porta). A cozinha normalmente localizava-se numa outra construção independente. O **loft** (cf. figura 13), surgido na Idade Média, terá sido a primeira construção de dois pisos. A sua construção podia ser integralmente executada com uma só técnica, mas os mais antigos *loftes* combinavam a construção da técnica **lafte** (toros) no piso térreo com a técnica **stave** (porticado) no piso superior. O piso superior dispõe-se em consola para além das fiadas superiores dos toros do piso inferior. Todo o sistema de elevar o edifício do solo através de vigas apoiadas em pedra, sobre as quais assentam bases cónicas de madeira⁷, é uma solução que visa manter a construção e os espaços por ela definidos livres de humidade. Este dispositivo de durabilidade seria especialmente importante nas estações em que a acumulação de neve se tornava problemática. As consolas do piso elevado protegiam ainda o piso inferior e em especial a entrada e as escadas de acesso ao espaço superior. (Pryce, 2005, p. 85). O uso principal do *loft* era agrícola (celeiro), mas o piso superior dispunha em princípio de um quarto para utilização durante o Verão ou para uso de visitantes. O *loft* era provavelmente um edifício de estatuto superior e com uma carpintaria mais elaborada que os restantes edifícios. Outro edifício típico era o **stabbur** (cf. figura 11), um armazém originalmente de piso térreo tendo mais tarde desenvolvido também um piso superior que, tal como o *loft*, também era utilizado como habitação. No exterior da quinta havia edifícios como os celeiros de campo, as *seter* ou cabanas de pastor e ainda os edifícios de apoio à pesca (Hansen, 1971, p. 44). Surge ainda um outro tipo de edifício, o **lan** que se desenvolveu através da associação de dois ou mais *loft*, *stove* e outras unidades, formando um edifícios de vários compartimentos podendo integrar técnicas variadas (*lafte* ou *stave*) (Donnelly, 1992).

Um dos tipos mais comuns de revestimentos de cobertura nos edifícios rurais era a cobertura vegetal. Sobre a estrutura da cobertura distribuíam-se pranchas de madeira, depois eram colocadas camadas de cascas de bétula sendo finalmente distribuída terra vegetal ao longo de toda a superfície. As vantagens desta solução consistiam na disponibilidade dos materiais, na sua durabilidade (entre 40 a 50 anos) e no isolamento que proporcionava. As inclinações das coberturas estavam estabelecidas em funções das regiões e dos níveis de precipitação, variando entre os 22° e os 33° (Sunnfjord Museum, 2014).

⁷ Sobre as quais assentam finalmente as vigas de soleira onde assentam as paredes.



Fig. 14 - Bryggen durante a II guerra mundial
(http://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand_gegen_den_Nationalsozialismus).



Fig. 15 - Edifícios de Cristiania (Oslo), séc. XVIII (Roede, 1999).

Os centros urbanos Noruegueses só se consolidaram no século XVII e de entre as grandes cidades (Oslo, Trondheim, Bergen) apenas em Bergen se pode observar hoje um fragmento da cidade medieval. Em Bryggen⁸ um alinhamento de edifícios com empenas de duas águas dispõe-se em frente ao cais (*brygge* em Norueguês) pelo menos desde 1385, combinando as actividades de armazenagem, administração e habitação (cf. figura 14). Perpendicularmente à correnteza, ruas estreitas estabelecem a ligações com os alçados posteriores onde se instalavam zonas comerciais. Vários incêndios afectaram o conjunto, mas a reconstrução foi sempre levada a cabo e executada segundo os padrões tradicionais (Pryce, 2005, p. 86). O sistema construtivo dos edifícios em Bryggen era um misto de porticado com paredes pesadas (cf. figura 16). Ou seja, os pilares e as vigas principais eram complementados com paredes de toros com cerca de 12,7cm a 15,24cm. A face exterior dos toros era protegida com um revestimento adicional em perfis de madeira pregados aos pilares. A forma natural das árvores, com a curvatura nas zonas das raízes, era utilizada para produzir um componente de uma só peça com pilar e cachorro. Estes pilares eram utilizados para suportar as galerias e as consolas sobre os pisos térreos (UNESCO, 2014).

Na Noruega partir de 1600 fizeram-se sentir algumas inovações como: a construção de chaminés de pedra ou tijolo, a utilização de um segundo piso adicional (como nos celeiros) e a introdução de pequenas janelas. Com a generalização do revestimento com pranchas no século XVII, as influências europeias passaram a fazer-se sentir principalmente nos detalhes das fachadas, com a execução de cornijas e molduras de vãos. Durante os séculos XVIII e XIX nas cidades, as coberturas revestidas com *shingles* e terra vegetal deixaram de ser utilizadas, sendo substituídas por materiais minerais como as telhas ou as ardósias (Hansen, 1971, p. 49). Em 1640 um incêndio destruiu a cidade medieval de Oslo, tendo sido realizada a reconstrução de modo a evitar futuros incêndios: as novas construções deveriam utilizar a alvenaria de tijolo ou os reticulados pesados com preenchimento de tijolo (cf. figura 15). A partir daqui este sistema, influenciado pela Dinamarca e pela Alemanha através das trocas comerciais e culturais promovidas pela liga Hanseática terá sido utilizado esporadicamente em algumas regiões do Sudoeste e em especial em Stavanger (Roede, 1999). Nas zonas rurais, continuou a construir-se principalmente com toros e porticados, mas assistiu-se à tendência de agregar novamente num único edifício as funções que a certa altura se tinham separado por diversas unidades. Em algumas regiões uniu-se a habitação com o celeiro, noutros a habitação com a cozinha, ou ainda a cozinha com os estábulos (Hansen, 1971, p. 49).

O revestimento das paredes exteriores das habitações (urbanas e rurais) com painéis de pranchas de madeira estava associado à proximidade de serrações que permitiam obter

⁸ A liga Hanseática (aliança de cidades mercantis do Báltico) por intermédio de comerciantes alemães instalou-se em Bryggen contribuindo para a sua continuidade.

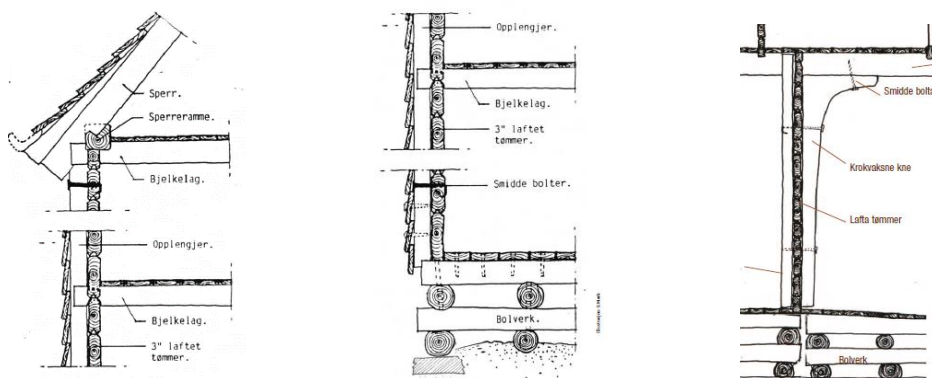


Fig. 16 - Detalhes da construção porticada com pranchas e régua de revestimento, em Bryggen, Noruega (UNESCO, 2014).

esses componentes com custos baixos. Na Noruega, as primeiras serrações que utilizaram a força motriz da água, datam do final do século XVI e marcam o início de uma importante indústria para o mercado interno e até para exportação. Até ao final do século XIX, a madeira continuaria a dominar a construção nas cidades, embora os regulamentos passassem em geral a incentivar o uso de outros materiais. A influência dos regulamentos por vezes manifestava-se mais através da introdução de revestimentos exteriores de alvenaria de tijolo do que pela substituição integral das estruturas de madeira. A utilização dos reticulados pesados seria uma das formas de fazer face aos regulamentos, embora como foi referido, a sua utilização tivesse sido meramente esporádica na Noruega (Hansen, 1971, p. 49).

A **Suécia** tem uma história paralela à da Noruega em termos de construção⁹ em madeira, sendo as habitações urbanas semelhantes nos dois países. É também um país rico em madeira, onde a construção em toros foi utilizada desde o domínio Viking, como solução predominante pelo menos nas zonas rurais do norte até à Suécia central. Na Suécia central desenvolveu-se um método de reticulado que consistia em intercalar pranchas verticais entre pilares. Em Scania, o tipo dominante (que é vulgar também na Dinamarca) é um “porticado” reforçado com travessas intermédias, preenchido com argila e mais tarde com tijolo (Hansen, 1971, p. 50). Este sistema pode-se incluir na categoria dos reticulados pesados apesar do espaço entre os montantes ser mais próximo do habitual entre os pilares dos sistemas porticados (cf. figura 18).

Bell (Bell, 2012) considera que na Suécia são três os tipos de construção vernacular mais importantes: a construção de paredes de toros, a construção de paredes leves de pranchas e montantes e a construção de reticulados pesados tradicionais (cf. figura 17). Um dos tipos mais antigos de construção é o *eldhus* (“casa do fogo”), uma cabana elementar construída em toros com o lugar do fogo no centro do espaço, sobre o qual se encontra uma abertura regulável para expulsão do fumo através da cobertura (Hakansson, 2003). Outro tipo tradicional é o *loftbod*, que como o *loft* Norueguês é construído também com toros, tem dois pisos, sendo o inferior utilizado para armazenagem e o superior para dormir durante o Verão (Hakansson, 2003). Donnelly (1992) descreve o sistema de paredes leves de pranchas e montantes, utilizado nas “*bole-house*”, como sendo construído com postes de Carvalho e pranchas de Pinho que se ligavam por encaixe aos primeiros. O “*bole*” era utilizado especialmente em edifícios rurais e surgia com mais frequência no sul da Suécia e na Dinamarca. A cobertura destes edifícios tinha uma baixa inclinação para permitir a acumulação de neve que deveria funcionar como isolamento térmico. Quanto aos edifícios de paredes pesadas, que ainda hoje é possível observar no Museu aberto de Skansen, destaca-

⁹ Uma grande diferença é a inexistência de igrejas Stave.

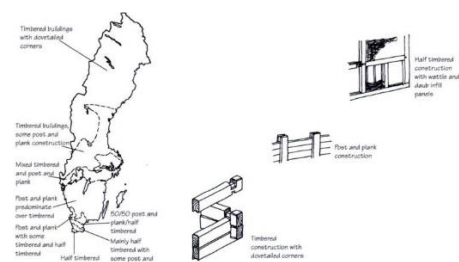


Fig. 17 - Três sistemas vernáculos dominantes na Suécia: as paredes pesadas, as paredes leves de pranchas e os reticulados pesados (Bell, 2012).



Fig. 18 - Habitação rural em Scania, Suécia com reticulados pesados - Casa Lars and Eva Stromberg (<http://www.skanskagardar.se/blade/4-1999.pdf>).

se a solução de durabilidade que foi sendo adoptada e que consistia em elevar os toros do solo, apoiando-os em pedras pesadas (Donnelly, 1992, p. 222).

A tradição construtiva da **Finlândia**, especialmente a do Leste do país, está também relacionada com a cultura dos territórios vizinhos. (Hansen, 1971, p. 23). Com a sua grande floresta de coníferas partilhada com a Carélia Russa, manteve sempre uma forte presença da construção com toros, mas a tradição cultural e religiosa mais voltada para a Europa ocidental e para a Escandinávia (em especial para a Suécia) iria influenciar em grande parte os aspectos estilísticos da sua arquitectura em madeira (Pryce, 2005, p. 90). A casa das herdades finlandesas em toros reflecte várias particularidades ancestrais, tal como a cobertura de baixa inclinação e a entrada para a sala de estar através da empena. Muitos dos edifícios rurais com paredes em toros apresentavam coberturas também com toros, com os topos a entrecruzarem-se na cumeeira (Donnelly, 1992, p. 228). No final do século XVIII, os edifícios das herdades por vezes passam a ter dois pisos e com o aparecimento das serrações industriais do século XIX o sistema de pilares e pranchas de revestimento (que eram utilizadas também a revestir os toros) teve um grande impulso (Hansen, 1971, pp. 50-51).

Até ao final do século XIX o exterior das casas rurais finlandesas normalmente não era pintado, tendo-se iniciado o hábito da pintura nas regiões ocidentais. Durante o século XVII e XVIII o ocre era a cor mais utilizada, sendo uma característica típica das casas dos proprietários de herdades. A partir do século XIX as casas da nobreza passaram a ser pintadas em cores claras de acordo com o gosto do estilo "Império". Nas casas de troncos das aldeias rurais do Leste e Nordeste da Finlândia o hábito da pintura nunca foi assimilado, mantendo-se a cor cinzenta da madeira envelhecida até ao século XX (Hansen, 1971, p. 52). Durante o século XIX diversos incêndios assolaram cidades e povoados finlandeses, levando a que se impusessem regulamentos que limitavam as casas de madeira a dois pisos, proibindo os revestimentos de madeira na cobertura e incentivando a construção em alvenaria (Suikkari, 2001). Apesar de todas as medidas para limitar a madeira como material de construção, esta continuou no século XX a ser o material mais importante para os edifícios rurais e para as habitações unifamiliares permanentes e de férias, sendo a Finlândia o país Nórdico em que a tradição em madeira teve maior continuidade (Hansen, 1971, pp. 50-51).

Na **Dinamarca**, as habitações especialmente as urbanas, utilizaram extensivamente os reticulados pesados (*timber-framed*) relacionando-se a sua difusão com a proximidade e tradição do Norte da Alemanha. (Hansen, 1971, p. 23). Estes edifícios¹⁰, que se continuaram a construir no século XIX, apresentavam frequentemente vários motivos decorativos entalhados na madeira dos componentes das fachadas (Hansen, 1971, p. 62). O sistema das

¹⁰ Dos quais se encontram sobreviventes do século XVI, nomeadamente uma casa construída em 1527 em Store Kirkestraede (Donnelly, 1992, p. 244)



Fig. 19 - Casa revestida com terra vegetal (torfhús) na Islândia (<http://icelandweatherreport.com/speaking-of-turf-houses/>).

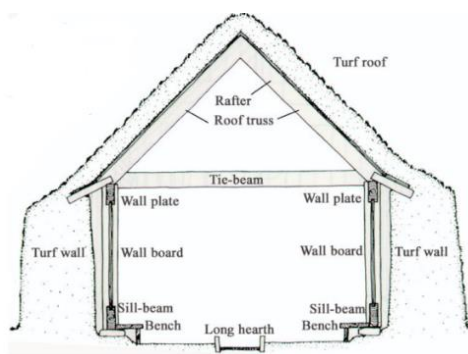


Fig. 20 - Corte de construção de porticado de madeira revestido a turfa, na Islândia (Sigurðardóttir, 2012).

casas rurais que integravam a habitação, o alojamento de animais e o armazenamento de produtos agrícolas baseava-se na montagem de pilares verticais e de travessas de topo (frechais) que rodeavam todo o perímetro. A essas travessas ligavam-se as vigas de cobertura. Os vazios entre pilares poderiam ser reforçados com montantes intermédios preenchendo-se depois os vazios com tijolo ou pedra. Outra solução também utilizada consistia em preencher os vazios com um fasquiado ou com um entrelaçado de ramos que serviam de suporte a uma argamassa (*wattle and daub*). O revestimento exterior da cobertura era em geral de colmo e as paredes eram revestidas e pintadas deixando à vista ou escondendo os componentes de madeira. A partir destas soluções básicas a variedade de abordagens estruturais surgia motivada pela necessidade de aumentar os espaços, afectando tanto o espaço interior como a envolvente exterior. Um primeiro tipo de solução adoptava pórticos interiores com duas filas de colunas e três naves, numa solução que já tinha sido aplicada na idade do ferro nas casas longas. Os componentes horizontais e verticais eram ligados através de encaixes de mecha e respiga, sendo consolidada a ligação por intermédio de cavilhas. Um outro tipo de edifício libertava o espaço interior, através da colocação de pilares no centro das paredes de topo, suportando uma viga de cumeeira que por sua vez suportava a estrutura da cobertura (Donnelly, 1992, p. 214).

Desde a colonização da **Islândia** por volta de 900 DC, coexistiram estruturas de pedra, madeira, turfa e terra. O território praticamente não tinha floresta, mas as construções com madeira não deixaram de ser utilizadas, provavelmente pela sua leveza em relação às outras possibilidades. A reduzida presença de madeira na ilha exigia que se importasse a madeira ou se aproveitasse aquela que frequentemente o mar fazia chegar às suas costas. Os sistemas construtivos utilizados incluíam as paredes pesadas de “meios toros” verticais, os porticados cravados no solo, os porticados sobre bases de pedra, as paredes pesadas de toros horizontais e os reticulados pesados. A madeira, pela sua escassez era muitas vezes reduzida aos mínimos aceitáveis. Os edifícios em toros por exemplo deixaram de se construir a partir do século XVIII, sendo os reticulados pesados o sistema mais recente, tendo sido introduzidos por via da Dinamarca. A maioria das estruturas de madeira (principalmente as de reticulados pesados) eram revestidas pelo exterior com turfa, sobretudo nas regiões mais condicionadas pelo vento. As chamadas *torfhús*, ou casas de turfa, marcam a identidade islandesa provavelmente porque se mostraram adequadas a todas as condicionantes do território: pouca madeira e um clima muito adverso que exige estanquidade e isolamento térmico (Sigurðardóttir, 2012).

I.B.2 REINO UNIDO

A distribuição regional das construções em madeira é condicionada por vários factores, mas a geologia e a geografia adquirem uma importância preponderante. Sobre os recursos e os

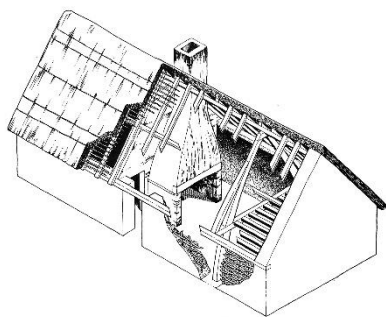


Fig. 21 - Casa "cruck frame" de secções ligeiras - Lancashire (Mercer, 1975).

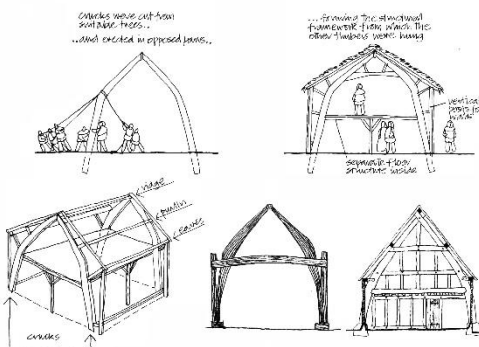


Fig. 22 - Estrutura "cruck frame" (Mercer, 1975) (Risebero, 1979).

materiais na Arquitectura vernacular do Reino Unido, Mercer (1975), em "English vernacular houses" considera o seguinte:

"The choice of a building material by any but the wealthiest of men is partly determined by local geology and geography. Until the age of cheap transport stone houses seldom occurred in low-lying, marsh areas or in wood regions; buildings of brick and unbaked earth were rare on the limestone belt, and on the granite uplands of the South West. On the other hand, the mere presence of a material does not guarantee its use, and at a vernacular level stone was unusual anywhere until a very late date. It was not until the 15th century that men of vernacular status acquired enough wealth to build substantial houses which survived and most of these are of timber. For this reason timber framing must come first in any discussion on vernacular building materials. But since the framing techniques and fashions of vernacular dwellings were influenced by those of the superior houses which preceded them, it will be necessary to deal with buildings above vernacular status; particularly those of the period before and immediately after the first vernacular timber building appeared." (Mercer, 1975, p. 113)

Por outro lado, as diferenças regionais entre estruturas de madeira podem ser explicadas pela existência de diferentes "Escolas" de carpintarias tradicionais com conhecimentos técnicos partilhados no interior do círculo relativamente fechados de grupos do tipo guilda. A Inglaterra estava dividida, pelo menos desde o século XIII até ao século XVIII em três regiões cada uma com distintas culturas de carpintaria. A mesma situação ocorria no País de Gales com duas regiões diferenciadas por soluções próprias e detalhes de execução singulares (Hansen, 1971).

Nas Ilhas Britânicas, onde até tal final do século XVII, a madeira se manteve como o principal material de construção utilizava-se, tal como na Europa Ocidental, uma grande variedade de espécies de madeira, mas as folhosas como o Carvalho, o Freixo, e o Castanheiro, eram as dominantes. Estas espécies são mais resistentes ao fogo e mais duráveis que as coníferas, não requerendo o mesmo tipo de dispositivos de protecção. De todas as espécies, o Carvalho era a mais popular por ter um grão fino, muita resistência e ser pouco propensa a empenar, mesmo quando usada em verde (Pryce, 2005, p. 102). Segundo Brunskill, no Reino Unido, os sistemas de construção em madeira dividem-se em dois grandes grupos, os reticulados pesados tipo gaiola (*box-frame*) e a construção porticada em ogiva (*cruck-frame*). Os edifícios em gaiola podem expor os elementos estruturais, individualizando painéis de preenchimento em argamassa armada (*wattle and daub*), ou em alternativa podem ocultar a estrutura através de revestimentos. Os porticados com ogiva (cf. figuras 21 e 22) podem estar associados a paredes de alvenaria ou a paredes do tipo reticulado, sendo difícil por vezes estabelecer a distinção pelo exterior entre estes e as estruturas em gaiola (Brunskill, 2000, p. 36).

A estrutura de pórticos em ogiva (*cruck frame*) terá sido desenvolvida pelos Anglo Saxões e por outros povos da Europa por volta de 500 AC principalmente para uso residencial. Esta estrutura, relativamente aos porticados simples permitia obter mais espaço interior e um piso superior adicional. Foi um processo que persistiu durante mais de um milénio, até que a madeira começou a escassear tornando-se mais difícil de obter os grandes componentes que formavam as ogivas. Já a casa de resalto (*jetty house*) surge no começo do século XI,

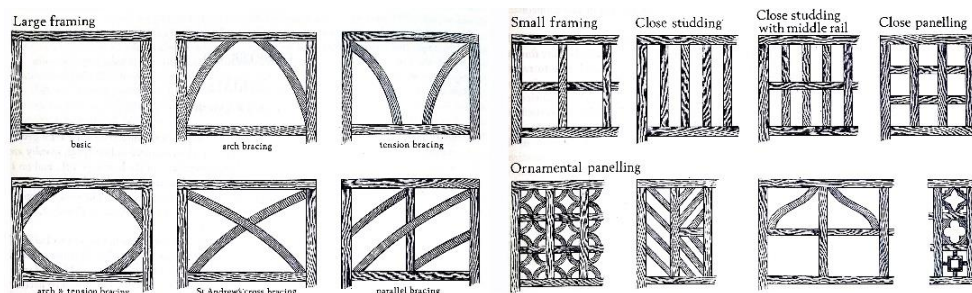


Fig. 23 - Tipos de reticulados pesados em função dos painéis utilizados nas paredes (Mercer, 1975).

utilizando elementos de madeira de menor dimensão que os das casas de pórticos em ogiva, substituindo os grandes elementos estruturais por um sistema em que os planos de parede funcionavam como unidades estruturais, distribuindo os esforços de forma mais uniforme. Os balanços protegiam os pisos inferiores das intempéries, permitindo ao mesmo tempo construir com estruturais de menores secções porque os esforços de flexão seriam deste modo mais reduzidos¹¹. De seguida a casa em gaiola (*box-frame house*), com início no século XV, desenvolve-se em simultâneo com os dois anteriores tipos, empregando maiores elementos de madeira (dois pisos) e formando uma “caixa estrutural” rígida. As ligações entre os componentes exigiam um trabalho qualificado cujo conhecimento era transmitido de mestre para aprendiz (Turan, 2009).

As paredes das construções de madeira parecem surgir como elementos independentes das soluções estruturais gerais (construções híbridas, gaiolas ou pórticos ogivais), assumindo uma autonomia própria (Brunskill, 2000, p. 58). Brunskill faz a distinção entre três escolas de construção de paredes reticuladas no Reino Unido¹². A “escola Ocidental” apresenta painéis quadrados, com pequenas escoras entre os prumos e a travessa de topo da parede, adicionando elementos decorativos em redor dos painéis. A “escola de Leste” é caracterizada por painéis altos e estreitos e escoras curvas entre a travessa de soleira e os montantes. Finalmente a “escola do Norte”, destaca-se principalmente pela solução singular de segmentação da viga de soleira, interrompida pelos postes. Nas situações urbanas, o ressalto (*jetty*) era a solução mais utilizada, tendo-se disseminado como uma moda por todo o Reino Unido. Nestes casos as vigas de pavimento sobressaíam do plano de fachada para suportar as paredes do piso seguinte (Brunskill, 2000, pp. 58-59). Mercer (1975) elabora uma outra tipificação distinguindo os painéis de grandes dimensões, os painéis de reduzidas dimensões e os painéis ornamentais com diversas variantes dentro de cada tipo, mas chama a atenção que estas tipificações na realidade são difíceis de identificar com clareza (cf. figura 23).

O meio mais comum de preenchimento dos vazios do reticulado estrutural das paredes era a “argamassa armada” (*wattle and daub*). Nas situações de painéis de forma quadrada era frequente haver uma reentrância nas travessas intermédias para introduzir as ripas verticais entre as quais eram tecidos os elementos vegetais horizontais que podiam ser caniços, ramos ou ripas. Sobre a malha assim criada era colocada uma mistura de barro, estrume e pelo de cavalo, que depois era rebocada. Também eram utilizados outros materiais de preenchimento como as lajetas de pedra ou de cerâmica. Em certas construções como os estábulos onde a ventilação era um requisito importante, os painéis não eram revestidos, deixando-se o entrelaçado de fibras à vista. Normalmente os elementos estruturais de madeira de Carvalho

¹¹ Uma vantagem que os carpinteiros poderiam conhecer empiricamente.

¹² No que diz respeito às tradições regionais de Inglaterra, para além das três escolas referidas, há também uma divisão fundamental entre o Este e o Oeste que distingue essencialmente as paredes com uma sucessão de montantes pouco distantes das soluções em que estas são uma série de painéis tendencialmente quadrados. No último caso, em geral, a parede de cada piso é dividida horizontalmente por uma travessa (Hansen, 1971, p. 103).



Fig. 24 - Little Moreton Hall, Cheshire (século XV)
(http://farm6.staticflickr.com/5175/5523666222_404feb3480_o.jpg).

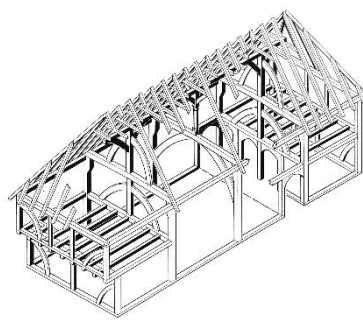


Fig 25 - Habitação do tipo "Open hall" (Mercer, 1975).

no exterior eram deixados à vista. Em algumas regiões (nas terras médias do norte, Cheshire e Lancashire) tirava-se partido do efeito de contraste entre os painéis rebocados pintados de branco e os elementos de madeira pintados com piche negro (*pitch*) (Brunskill, 2000, pp. 60-61).

A técnica de execução de uma base de protecção para os pilares, no sentido de promover a durabilidade das estruturas de madeira, torna-se comum no século XII em algumas zonas de Inglaterra, surgindo em consequência, nos séculos XIII e XIV, variações regionais nas soluções adoptadas. Surgem por um lado os edifícios de um único vão estrutural (cf. figura 25) e por outro, os edifícios de duas naves laterais definidas por dois alinhamentos estruturais interiores. Cada uma das soluções por sua vez apresentava variações. Para a solução de naves laterais, surgiam as coberturas "*colar rafter roof*", as "*passing brace roof*" e as "*colar purlin roof*" que se diferenciavam pelo modo como eram contraventadas. Para as coberturas de um vão as variações contemplavam a asna ogival simples (*simple cruck*), a asna ogival com uma linha superior (*colar beam*) e ainda as asnas triangulares. Mas mesmo estas divisões não eram estanques, verificando-se uma interacção regional com a consequente adopção de formas híbridas (Hansen, 1971, p. 72).

As evoluções técnicas a partir do século XIII consistiram, entre outras, em dar aos espaços (principalmente ao *hall*) uma maior espaciosidade através do desenvolvimento de uma cobertura com menos peso visual. No caso dos edifícios com naves laterais este desenvolvimento conduziu à eliminação dos pilares que definiam as naves. Em qualquer dos casos esta era uma tarefa difícil nos edifícios com vãos maiores e particularmente naqueles que tinham maior altura. O desafio colocado ao carpinteiro consistia em combinar a estabilidade com a aparência de leveza, o que só em alguns casos foi conseguido. Assim, segundo Hansen (Hansen, 1971, pp. 81, 82), as mais espectaculares coberturas de madeira são as que assentam em paredes de pedra. Nas habitações que incorporavam um *hall*¹³ de grande pé-direito desenvolveram-se tipos de cobertura singulares como a do tipo "*hammer beam roof*", ou seja uma asna cujo aligeiramento se devia à introdução de escoras do tipo cachorro no seu arranque.

Com a subida da dinastia Tudor ao poder, em especial a partir do reinado de Henrique VIII (1509-1547), verificou-se na nobreza uma tendência para construir casas senhoriais. Essa vocação foi imitada por um grupo de cortesãos e oficiais do reino desejosos de mostrar credenciais. Entre estes últimos estava a pequena nobreza proprietária de terras que construiu as suas casas na fronteira de Gales, não em tijolo (que começava a ser uma forma de construção cada vez mais corrente), mas em madeira. Um dos exemplos mais conhecidos é a Little Moreton Hall em Cheshire (cf. figura 24), uma casa do grupo das chamadas

¹³ O Hall era o principal compartimento de uma casa medieval, normalmente com pé-direito duplo.



Fig. 26 - Pitchford Hall, Shropshire
(<http://www.philaprintshop.com/images/hallpitchford.jpg>).



Fig. 27 - Feathers Inn, Ludlow, 1603
(<http://www.fromoldbooks.org/Holme-ArtInEngland/pages/011-the-feathers-inn-ludlow/629x863-q90.html>).

Isabelinas (*Elisabethans*), ou “*black and white*”, numa menção à prática posterior de pintar a madeira de preto e os painéis de preenchimento de branco. A casa foi inicialmente construída no século XVI, sendo depois ampliada pelos sucessivos herdeiros que mantiveram sempre a madeira como material de construção, provavelmente devido aos custos inferiores em relação aos da construção em pedra, associando assim resultados mais imponentes e um orçamento menor (Pryce, 2005, p. 131). Em Shropshire, a auto promoção da imagem da família Ottley, de ricos mercadores de lã e a ostentação da sua crescente riqueza foi conseguida através da ampliação da sua casa, a Pitchford Hall (cf. figura 26), adicionando-lhe novas alas com estrutura de madeira. Para além das ampliações, um dos métodos adoptados para conferir imponência e denotar ascensão social, consistia em acrescentar dispositivos decorativos à construção existente. Feathers Inn em Ludlow (cf. figura 27) é um exemplo de uma profusão decorativa que inclui padrões em losangos simples ou encurvados, incluindo balaustradas e caixilharias que completam a composição (Pryce, 2005, p. 132).

Entre o século XIV e XVI os pequenos proprietários rurais desenvolvem um tipo singular de casa de reticulados pesados ou “*box framed*” conhecida como o “*Wealdon type*” (cf. figuras 28 e 29). Este tipo surge nas zonas de Weald, Kent, Surrey e Sussex (regiões com a maior área de floresta natural de Inglaterra) onde o Carvalho era uma espécie muito comum. Este é um tipo arquitectónico, que se caracteriza por ter três zonas funcionais, uma central de pé direito duplo (zona social, de refeições e formal) e duas zonas idênticas de dois pisos nos topos (uma zona dedicada às actividades dos proprietários e outra à dos funcionários). Os pisos superiores têm ressaltos nas zonas dos topos e o *hall* central recua em relação à fachada. A partir das consolas surgem escoras curvas que ajudam a suportar a viga de pavimento (frechal) do piso superior (Pryce, 2005, pp. 110-113).

Depois da metade do século XVI surgem tipos de estruturas mais decorativas no Oeste, abandonando-se a tipologia do *hall* aberto no qual a cobertura era uma componente importante de ostentação arquitectónica. Nos edifícios Isabelinos de maior qualidade, de dois ou três pisos, com as paredes de cada piso divididas em três alturas, começam a aplicar-se nos painéis os primeiros elementos decorativos. Em 1560 surgem os padrões em espinha e uma década depois surgem os painéis quadrados com elementos curvos formando padrões em forma de diamantes. No início do século XVII surge o gosto por um estilo mais contido. A Escola do Oeste, para além da ênfase na decoração, continuará a utilizar as estruturas de porticados em ogiva¹⁴ (*cruck frame*), mesmo já depois de noutras regiões esta ter sido relegada para as casas rurais. No Este e Sudeste, desenvolve-se um tipo estrutural mais

¹⁴ Uma casa em “*cruck frame*” do século XV ou XVI poderia ter um vão de cerca de 8,20m como acontece em Newchurch (Radnorshire).



Fig. 28 - Desmontagem de uma "Wealdon house"
(<http://www.wealddown.co.uk/images/stories/magazines/2000s/2007%2004%20WDOA%20Magazine.pdf>).

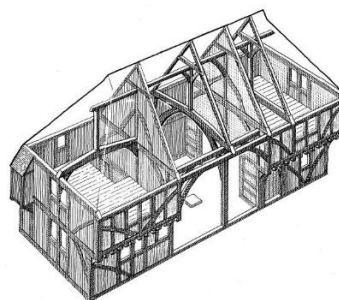


Fig. 29 - Perspectiva de uma "Wealden house"
(<http://www.openairclassroom.org.uk/Further%20information/information-the%20wealden%20house.htm>).

sóbrio e nas residências senhoriais do campo, as estruturas de madeira passam a dar lugar às alvenarias portantes de tijolo (Hansen, 1971, p. 104).

Nas casas rurais do século XVII em Lincolnshire Fens e West Lancashire dá-se continuidade aos métodos de construção antigos utilizados nas habitações dos camponeses. Estas casas apresentam um ou dois pisos e uma estrutura porticada muito simples e com painéis de parede ligeiros de pequenos montantes entrelaçados com ramos e rebocados (Hansen, 1971, p. 109). Algumas inovações que se dão relacionam-se com a resposta a requisitos funcionais, como o uso do espaço da cobertura que produziu uma alteração importante na aparência das casas tardo-medievais, ou a procura de mais espaço nos pisos superiores. Assistiu-se em consequência à proliferação de volumes em consola, como as tradicionais *bay windows* com formas diversas: rectangulares, em curva ou facetadas (Hansen, 1971, p. 112).

O declínio das estruturas de madeira terá começado depois das guerras civis (século XVII) com a disseminação da moda dos estuques decorados e dos altos-relevos nas fachadas. Este facto relaciona-se com o aumento do custo da madeira que terá levado muitos construtores a reutilizar componentes de outras obras que naturalmente surgiam desfiguradas, com entalhes e marcas de aplicações anteriores. O reboco surgia então como uma forma muito eficaz de uniformizar as superfícies e eliminar os vestígios da reutilização dos componentes (Hansen, 1971, p. 109). O desenvolvimento dos rebocos de cal sobre um fasquiado de madeira associa-se à sua decoração com diversas cores ou à aplicação de estuques decorativos em relevo. Os mais antigos datam do século XVI, tendo-se tornado uma técnica mais popular no século XVII, caindo depois em desuso no século XVIII (Brunskill, 2000, pp. 68-69).

No final do século XVII, o tijolo já era utilizado de forma generalizada, no entanto as *cottages*¹⁵ dos pequenos proprietários e prósperos camponeses das West Midlands continuaram a utilizar a madeira reduzida à sua forma essencial até o século XVIII. A partir da segunda metade do século XVIII e primeira metade do século XIX, assistiu-se à moda de recobrir as estruturas existentes com tijolo (*brick-fronted*), de tal modo que certos aglomerados, como Pershore (Worcestershire) e Alcester (Warwickshire) parecem construídas com tijolo quando na origem e estruturalmente são de madeira. No caso de não serem recobertas com tijolo, as estruturas de madeira eram revestidas com rebocos, não só para irem ao encontro das tendências da moda, mas também para responder às exigências de estanquicidade (Hansen, 1971, p. 109). Nas regiões do Oeste e Norte de Inglaterra e de Gales surge um fenómeno que evidencia o poder que a construção em madeira continuou a ter sobre a imaginação dos

¹⁵ Uma *cottage* é uma pequena construção de um só piso, caracterizada pela sua simplicidade, sendo a partir do século XVIII valorizada como edifício pitoresco.

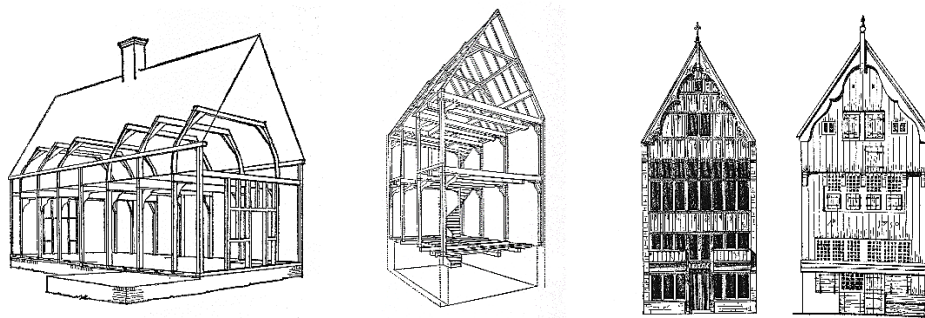


Fig. 30 - Estrutura de casas de madeira na Holanda (séc. XVII e XVI). Alçados de casas na Bélgica e na Holanda (séc. XVI) (Hansen, 1971).

habitantes das cidades: a *three-quarter-house* (assim nomeado na Holanda) é uma habitação com três paredes de pedra e uma fachada principal em madeira (Hansen, 1971, p. 112).

Em 1666 o grande incêndio que destruiu a cidade de Londres promoveu a desconfiança generalizada na construção em madeira, marcando decisivamente o seu declínio. Mas terão sido mais os regulamentos contra incêndio elaborados posteriormente que terão conduzido directamente ao seu abandono. A arquitectura de tijolo assim imposta produziu uma nova estética, ao mesmo tempo que o custo da madeira e as dificuldades no seu abastecimento faziam com que a procura dos novos materiais aumentasse. No final do século XVII a construção em madeira estava já “fora de moda” (Hansen, 1971, p. 115).

A construção em madeira, apesar de ter diminuído, continuou a ter um lugar importante depois do incêndio de Londres. Como já foi referido, os revestimentos eram de certo modo a forma mais eficaz de esconder o carácter estrutural da madeira. Para além da solução básica do reboco sobre uma fina camada de argamassa armada, os revestimentos das paredes no Reino Unido poderiam assumir outras soluções. Uma primeira alternativa, mais durável e adequada a estruturas mais leves, como as que estavam em desenvolvimento no Sudeste Inglês do século XIX, consistiu na aplicação de soletos de cerâmica¹⁶. As peças, originalmente aplicadas na cobertura, estenderam-se à fachada, montadas sobre uma estrutura de sarrafos de madeira, numa disposição de juntas verticais desfasadas (Brunskill, 2000, pp. 62, 63). Outras soluções consistiam em peças cerâmicas com aparência de tijolo (*mathematical tiles* ou *brick tiles*), ou placas de cobertura de ardósia adaptadas para a fachada em dimensões mais reduzidas. Nas construções mais básicas aplicavam-se os painéis chamados de “terra e montantes” (*mud and stud*) com uma espessura de cerca de 10cm, reforçados com ripas (Brunskill, 2000).

I.B.3 HOLANDA

O solo conquistado à natureza das terras baixas da Holanda oferecia uma matéria-prima (argila) para produzir tijolos, os quais eram designados por *baksteen*, ou seja “pedra cozida”. Com o desenvolvimento da arte de cozer tijolos¹⁷, este material passou a ser associado à expressão da arquitectura residencial holandesa (Steele, 2009b). Mas durante a Idade Média, na zona noroeste dos Países Baixos, na antiga província “Holanda” (cujo nome parece derivar de *Holtland*, ou seja “a terra da madeira”), algumas regiões proporcionavam a matéria-prima

¹⁶ O uso de perfis de fachada (*weatherboard* ou *cladding*) que terá sido uma das adaptações dos colonos chegados à Nova Inglaterra não era uma solução desconhecida em Inglaterra, havendo registos da sua utilização desde o século XVI. Não foi no entanto uma solução muito popular, restringindo-se a algumas pequenas casas. Inicialmente os perfis eram fixados por cavilhas à estrutura, mas mais tarde passaram a ser pregados. Encontram-se algumas soluções de pinturas sobre estes perfis a imitar alvenaria de pedra ou variantes com os perfis verticais (Brunskill, 2000, pp. 64-65).

¹⁷ Entretanto, a escassez de madeira na Holanda influenciou a dimensão dos tijolos porque sendo o combustível raro, a cozedura deveria ser feita em menos tempo do que noutros países. Os tijolos eram então mais finos e as juntas entre eles maiores que o normal noutros países (Steele, 2009).

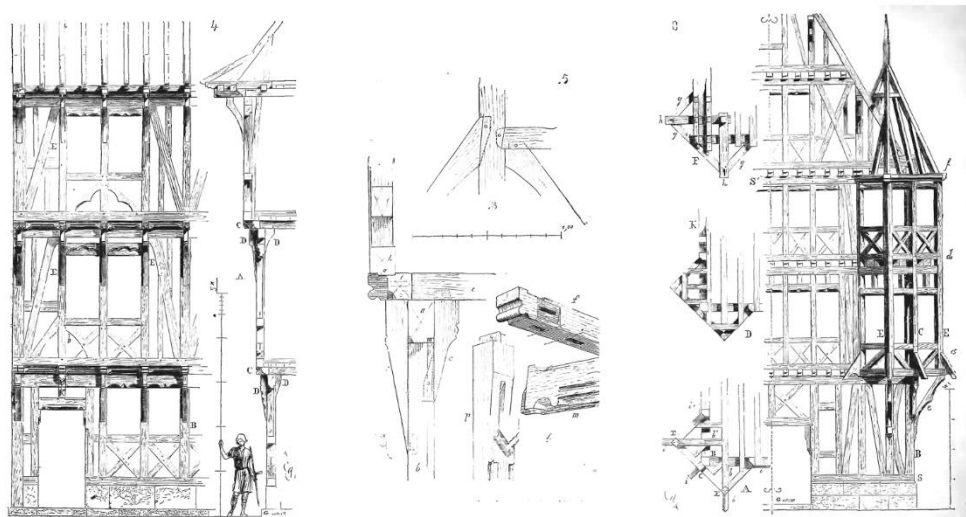


Fig. 31 - Desenhos de fachada de reticulados pesados de Viollet le Duc (construção do séc. XIII) (Le Duc, 1864).

necessária à construção em madeira (Hansen, 1971, p. 117). Os deltas dos rios Meusa, Reno e Scheldt correspondiam a zonas florestadas, sendo no século XIII a madeira amplamente utilizada para construir diques com o objectivo de conquistar terra ao mar¹⁸. Segundo Lyon (2006), a presença da madeira na construção Holandesa poderá justificar-se mais por uma organização social e tecnologicamente avançada do que pela grande disponibilidade de recursos.

A madeira era utilizada também para a construção de casas na zona Norte do país onde o subsolo (tal como noutras regiões da Holanda) não era estável o suficiente¹⁹ para suportar as cargas da construção em alvenaria (Pryce, 2005, pp. 139-141). Uma das soluções para resolver o problema das fundações consistia em cravar estacas de madeira no solo obtendo-se assim uma base de fundações compactada (Hansen, 1971, p. 121). Com esta condicionante e numa área pobre em pedra natural, a madeira torna-se naturalmente o material de construção principal (Hansen, 1971, p. 117):

"The ubiquitous presence of wooden structures, wooden transports, and wooden products in the Netherlands in the early sixteenth century made wood an integral but ordinary part of both the urban and the rural landscape". (Lyon, 2006)

Durante a Idade Média as habitações comuns nas cidades eram construídas com madeira embora os edifícios de maior importância o fossem noutros materiais. De entre as soluções de madeira destacam-se, já antes de 1300, os grandes vãos das coberturas dos espaços de *hall* das casas da nobreza. Estes edifícios de porticados pesados (cf. figura 30) que se constroem maioritariamente no sudoeste da Holanda durante a Idade Média, apesar da semelhança com os Ingleses, não têm asnas com linha (*tie beams*), pelo que o esforço lateral exige postes de maior secção (Hansen, 1971, p. 117). As casas nas pequenas vilas do Leste são construídas com reticulados pesados (*timber-frames*) provavelmente devido à proximidade e aos contactos com as regiões vizinhas da Alemanha (Hansen, 1971, p. 118). As paredes de preenchimento destes reticulados pesados seguem a evolução natural do sistema: sendo executadas inicialmente com argamassa armada, serão posteriormente substituídas por tijolos (Hansen, 1971, p. 119).

¹⁸ Os moinhos de vento construídos integralmente em madeira tinham um papel importante na drenagem das águas dos terrenos (para além de outras funções como a moagem de milho e mistura de tintas (Pryce, 2005, p. 139).

¹⁹ A importância do solo pode ser exemplificada com o processo da igreja de St. Bravo em Haarlem que terá começado pela construção da torre da igreja em pedra, mas assim que se verificaram assentamentos da estrutura, decidiu-se demolir os trabalhos já executados substituindo-se a estrutura por madeira (Hansen, 1971, p. 117).



Fig. 32 - Maison d'Adam (séc. XV)
(<http://www.cosmovisions.com/monuAngers.htm>).



Fig. 33 - Maison d'Adam
(Valentim, 2009).



Fig. 34 - Maison Kammerzell, 1589
(<http://usuc.fr/Projets/cpa/pics/2007Septembre/070920-0263.jpg>).

Na continuidade do que ia acontecendo na Europa, depois do impacto físico e psicológico de vários incêndios, as administrações das cidades começaram a definir regulamentos que exigiam que as paredes exteriores das casas fossem construídas com alvenarias²⁰. A estrutura principal, no entanto permaneceria em grande parte em madeira e na prática, eram os revestimentos de madeira e as empenas que davam lugar aos materiais cerâmicos e ao tijolo em particular (Hansen, 1971, p. 118) (Lyon, 2006). Em Amsterdão as casas originais com porticados de madeira são substituídas, a partir do século XIV por casas com paredes laterais corta-fogo em tijolo, com pilares de madeira embebidos. Os pilares desaparecem em meados do século XVII, altura em que a estrutura passa a ser mista, assentando os pavimentos de madeira e as coberturas nas paredes de alvenaria portante. As fachadas principais continuaram ainda a construir-se em madeira, mas quando se passaram a construir com tijolo, foi mantida a tradição dos pavimentos balançados sucessivamente (cerca de 20cm em cada piso), embora neste caso se substituísse o escalonamento em degraus pela fachada inclinada (Janse, 1994).

Na província de Nordholland, onde a partir de 1600 graças a uma grande dinâmica no comércio da madeira, devido à necessidade de construir moinhos de vento e aproveitando-se regulamentações de segurança contra incêndio menos restritivas desenvolveu-se um tipo diferente de edifício singular totalmente em madeira. O esqueleto destes edifícios era constituído por uma estrutura porticada, revestindo-se as paredes laterais com pranchas dispostas na horizontal e as da frente montadas na vertical. Em certas zonas (Zaanstreek em particular), as fachadas surgiam com muitos elementos decorativos, desenvolvendo-se durante o século XVIII o hábito de pintar estas fachadas de verde com os elementos decorativos em branco. Noutras localizações (Broek em Waterland) surge o método dos postes à vista no interior e afastados das paredes a uma distância de mais de uma jarda (0,91m), podendo esta ser uma permanência das antigas tradições medievais (Hansen, 1971, p. 119).

I.B.4 FRANÇA

Em França encontram-se ainda hoje exemplos bem conservados da tradição da construção em madeira que a certa altura dominou todo o país: Normandia, Champagne, Alsácia, o vale

²⁰ Na Holanda, partir de 1650, a madeira sofreu grandes restrições como material de construção. Mais tarde, no primeiro regulamento oficial de construção datado de 1901, a madeira foi completamente proibida para habitações de uso permanente. A exceção estava prevista para um conjunto de centros urbanos fortificados que mantinham um papel defensivo. A possibilidade de desmontar os edifícios de madeira rapidamente em caso de guerra levou a que nessas zonas a madeira se mantivesse como o material privilegiado (é o caso de Naarden a leste de Amsterdão) (van Beusekom, 2006).



Fig. 35 - Maison du Marensin em Les Landes de Gascogne (Valentim, 2009).



Fig. 36 - Maison du Perthois, em Champagne (Valentim, 2009).



Fig. 37 - Edifício de quinta no Pays d'Auge (Valentim, 2009).

do Loire e em cidades da Picardia e Borgonha, no Oeste da Bretanha, no Maciço central e ainda no País Basco, Bresse e Alpes. As casas de reticulados pesados tipo gaiola (cf. figura 31) mais antigas são as da Normandia, construídas no final do século XIV. A partir desta altura, os carpinteiros desenvolveram o seu ofício com recursos especiais para a solução do travamento e rigidez de toda a estrutura, como as escoras em cruz de Santo André, as ligações em cauda de andorinha e em mecha e respiga e o reforço com cavilhas. Hansen refere que a solidez destas ligações era de tal ordem que quando um edifício tinha que ser demolido, as juntas tinham que ser serradas (Hansen, 1971, p. 125). A Normandia encontra-se numa zona de encontro de culturas, tendo-se cruzado as influências Vikings e Inglesas com as locais. Provavelmente a solução de paredes de pranchas e montantes semelhantes às de Biskupin fizeram parte das soluções iniciais, no entanto os seus vestígios não chegaram até hoje. Compreende-se que assim seja uma vez que a prática de destruição e incêndio eram práticas muito frequentes durante as sucessivas vagas de invasões e de confrontos (Clayton, 1990, p. 80).

Tradicionalmente em França a espécie de madeira mais utilizada era o Carvalho, excepto no caso dos *chalets* dos Alpes em que eram preferidas as coníferas (o Abeto ou o Espruce). Na medida em que a floresta fornecia elementos de madeira de grandes dimensões, os montantes desenvolviam-se desde o pavimento térreo até à cobertura. Neste sistema, os postes de canto poderiam chegar a ter secções de 50cm (Provost, 2010). Os postes longos foram utilizados na Idade Média em várias localidades francesas, mas a partir da segunda metade do século XIV, com a escassez de madeira de grande dimensão, generalizou-se o uso de peças mais curtas. As estruturas com peças curtas requeriam uma carpintaria mais complexa do que aquela que exigiam as estruturas com madeiras longas (Hansen, 1971, p. 126). Segundo Valentim (2009) a justificação para o desenvolvimento dos reticulados pesados e a procura de um maior aligeiramento estrutural, em França, pode ser dada pela escassez de recursos florestais (devido aos avanços do solo agrícola e urbano) e também pela maior estabilidade política a partir do século XIV.

Nas estruturas reticuladas pesadas os espaços entre postes eram primeiro preenchidos com uma espessa camada de barro ou terra com palha, dando origem a paredes pesadas como acontecia nas casas de piso térreo mais antigas e na Normandia, Landes e Bresse. Com o aumento do número de postes, a espessura da parede foi reduzida e a argila foi reforçada com um entrelaçado de ramos ou caniços (*wattle and daub*). Em habitações urbanas, o reboco rapidamente substituiu o barro, passando a parede a ter cerca de 10cm de espessura, por vezes fixada a uma moldura com cavilhas. O preenchimento com mosaicos e tijolos por vezes muito finos, e colocados segundo um padrão em espinha surge em casas senhoriais e em edifícios rurais na Normandia, País Basco, Loire, Bresse e Picardia (Hansen, 1971, p. 133). No século XV, nas casas mais ricas, a madeira era valorizada, encomendando-se painéis decorados de madeira em vez de reboco, mas este manteve-se em uso durante o século XVII e XVIII, sendo também utilizado como suporte para a introdução de motivos decorativos (Hansen, 1971, p. 133).

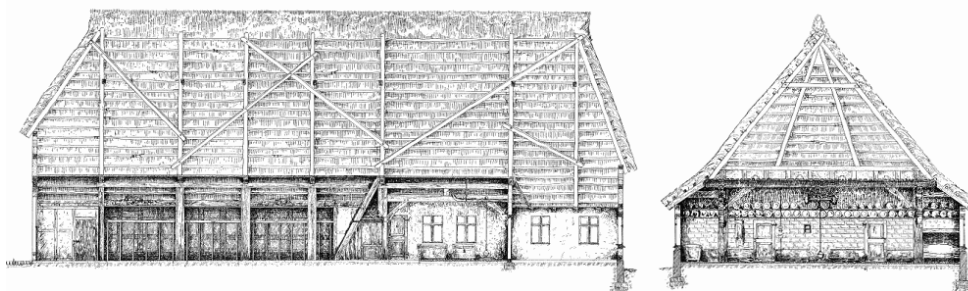


Fig. 38 - Casa rural da Baixa Saxónia - Fachhallenhaus - Das altsächsische Bauernhaus, Willi Pessler, Braunschweig, 1906 (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schnitt_Niedersachsenhaus.png).

A construção em madeira tornou-se ainda mais exigente quando as casas passaram a ser construídas com ressaltos em cada piso sucessivo (algures durante o século XIV). As diferentes formas de executar o ressalto conferem características específicas a cada estrutura. Pelo menos três métodos diferentes eram utilizadas (com vigas de pavimento em balanço coincidindo com os postes, com a utilização de vigas adicionais, ou com cachorros). Em simultâneo, surgem por exemplo as escoras tipo cachorro (*pigeatres*) que garantiam a rigidez entre elementos verticais e horizontais. O uso do ressalto coincide com o desenvolvimento e densificação das cidades no interior das cidades muralhadas. Este dispositivo proporcionavam um ligeiro aumento da área interior, mas retiravam luminosidade às ruas, pelo que no século XV surgem em França regulamentos que os proíbem. No entanto a solução do ressalto continuará a ser utilizada até ao século XVIII (Hansen, 1971, p. 126).

Valentim (2009) divide tipologicamente os vários reticulados pesados “colombage” em: estruturas revestidas, estruturas protegidas e estruturas à vista. As estruturas revestidas surgem nas regiões da Picardie e l’Artois (e parcialmente no pays de Caux, Normandia, Beauvaisis e Île de France), sendo compostas de elementos estruturais de reduzida qualidade, não destinados a serem vistos e cobertas integralmente por rebocos. As estruturas protegidas surgem nas regiões da Normandia, Bretanha e Champagne, e apresentam-se com os componentes de madeira protegidos com telhas de barro cozido, ardósia ou pranchas de madeira. Quando às estruturas à vista, a grande diversidade de soluções tem por base variantes nas seguintes características tipológicas: elementos de subdivisão dos painéis, elementos de travamento e elementos decorativos.

O modo de subdivisão dos planos de fachada em painéis, permite distinguir regiões quanto ao maior ou menos espaçamento dos componentes de madeira (cf. figuras 35, 36 e 37). Em regiões como no pays d’Auge, Briennois e Champagne, os painéis são normalmente muito repartidos enquanto em le Marensin Landais e em la Basse-Navarre Basca são mais espaçados (Valentim, 2009). Quanto aos elementos de travamento da estrutura, por exemplo na Alsácia, em cada vazio estrutural introduz-se com frequência uma escora longa inclinada à qual são ligadas duas pequenas travessas. (Hansen, 1971, p. 128). No século XVII quando as janelas se tornaram maiores, introduzem-se elementos novos e mais complexos que funcionam simultaneamente como elementos decorativos. Surgem por exemplo o padrão em losangos, as versões elaboradas da cruz de Santo André com curvas e contra curvas, e as geometrias tipo folha de trevo (Hansen, 1971, p. 128). Com o aumento do número de pisos, aumenta-se geralmente o número de postes, formando por vezes entre eles gelosias. No caso da Alsácia, onde as casas de madeira são maiores que em qualquer outra região de França, para além do número de postes aumenta-se também a quantidade de escoras.

Um exemplo notável do potencial da construção em reticulados pesados é o da Maison Kammerzell de 1589 em Estrasburgo (cf. figura 34). Esta tem uma “fachada-cortina” que,



Fig. 39 - Casa rural da Floresta Negra - Schwarzwaldhaus, Ehepaar in Landestrachten, Reetdach (<http://www.akpool.co.uk/postcards/24415060-postcard-schwarzwaldhaus-ehepaar-in-landestrachten-reetdach>).

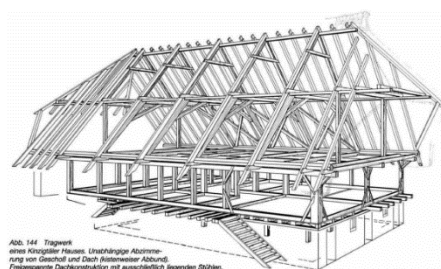


Fig. 40 - Estrutura de uma casa da Floresta Negra (<http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm>).

segundo Pryce (2005), antecipa a solução do movimento moderno do século XX com uma linha contínua de janelas entre elementos estruturais nos três pisos principais (uma solução impossível com uma estrutura de alvenaria). As paredes mais leves são uma consequência do uso das asnas triangulares que substituiu gradualmente as coberturas da Idade Média, só com vigas de cobertura. Em contraponto a este aligeiramento, a noção de solidez é conferida pela profusão de decoração e pelos postes de canto que são ao mesmo tempo peças escultóricas muito elaboradas (Pryce, 2005, p. 125).

A decoração dos vazios entre a estrutura desenvolveu-se principalmente durante o Renascimento nas regiões Normandia, Bretanha, Champagne e sobretudo na Alsácia (Valentim, 2009). Os altos-relevos com figuras humanas e outros elementos decorativos (escamas, cordas, trevos, caneluras, etc.) são práticas frequentes nesta altura (Hansen, 1971, p. 133). A Maison d'Adam em Angers no vale do Loire (cf. figuras 32 e 33), do final do século XV é um exemplo típico de como os elementos estruturais se transformam directamente em elementos importantes na expressão estética de um edifício: os componentes verticais da estrutura são esculpidos com motivos e figuras humanas e de animais e os painéis são preenchidos com elementos de travamento em forma de diamante (Pryce, 2005, p. 122).

O sistema construtivo de paredes em toros horizontais surge com muito significado nos *chalets* da região da Haute Savoie. Estas estruturas albergavam simultaneamente pessoas, gado e provisões para o Inverno. Erguem-se normalmente sobre uma base de alvenaria de pedra que pode estender-se a todo o piso térreo e podem ter até três pisos. A cobertura, muitas vezes é acabada com shingles de madeira (*bardeaux*), e projecta-se para além das fachadas. Os toros são fixados nos cantos por juntas em sela com os topos dos toros salientes, sendo também frequentes as juntas em cauda de andorinha. Por vezes as paredes exteriores são protegidas adicionalmente com perfis verticais pregados. (Hansen, 1971, p. 146).

I.B.5 EUROPA CENTRAL

Segundo Hansen (Hansen, 1971, p. 153) as descrições das construções de madeira na Europa central feitas por Tácito no seu texto "Germânia" dão conta de uma grande variedade de sistemas construtivos: as construções em toros horizontais, os porticados, os postes e pranchas, e as paredes de argamassa estruturada (argila e elementos vegetais entrançados). Esta diversidade parece ser demonstrada por vestígios arqueológicos com diferentes tipos construtivos em zonas relativamente próximas. No seio dos povos Germânicos a madeira era o material de base não só para a arquitectura residencial mas também para a construção de fortalezas que deveriam ter consumido vastas quantidades de madeira. A importância da construção em madeira é também atestada por fontes documentais que mostram que os Godos já no ano de 350 tinham os seus carpinteiros organizados em Guildas (Pryce, 2005, p.

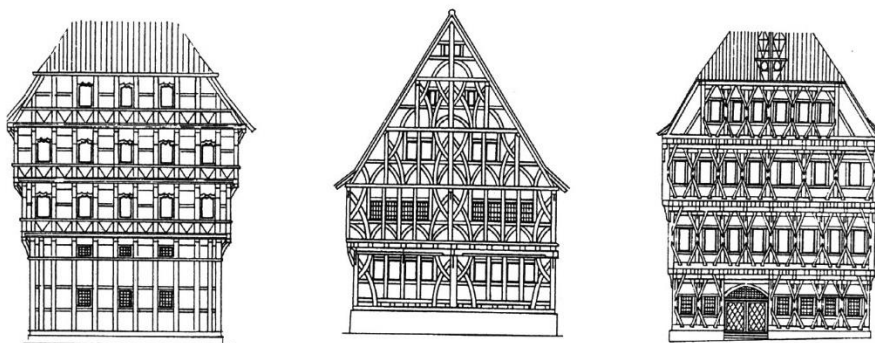


Fig. 41 - Modelos de "fachwerk" do século XVI: Norte "Saxónico", Central Oeste "Francónio" e Sul "Alemânico"
(<http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm>).

102). Na Europa central os centros de excelência da construção em madeira situam-se segundo Hansen (Hansen, 1971, p. 156), na Floresta negra, em Allgäu na Suíça e no Tirol.

Desde os séculos XV e XVI os edifícios de madeira diferenciaram-se muito de região para região. Os edifícios em toros passaram a predominar na Escandinávia, mas na Europa Central, com a excepção da Áustria, os reticulados pesados passaram a ser a solução mais comum. A diferenciação das estruturas reticuladas não se faz tanto pelo tipo de material de preenchimento (argila, pranchas ou tijolo), mas mais pela forma e geometria do conjunto dos componentes de madeira e pelo tipo de ligação entre os diferentes elementos, tal como foi referido para o caso da França. As junções em meia madeira (*halving*) surgem antes das junções com respiga e mecha (*tenoning*), evoluindo as técnicas construtivas em função da familiaridade dos carpinteiros com o comportamento da madeira (Hansen, 1971, p. 156).

A inovação podia em parte surgir pela prática habitual dos carpinteiros viajantes que adquiriam e partilhavam conhecimentos com regiões diferentes. Determinadas soluções construtivas resultavam de tradições anteriores que se transmitiam de um sistema construtivo mais básico para outro mais elaborado, como acontecia por exemplo na Swabia (*Schwaben*), com a solução de interromper a travessa de soleira (frechal) com os postes verticais que assentam nas pedras de fundação. Os postes que fraccionavam a travessa seriam uma sobrevivência da técnica das estacas cravadas no solo com origem na tradição Germânica. Por vezes as forças da tradição tinham que ser contidas pelos regulamentos, como os que vieram a público no ano de 1427 em Ulm, que obrigavam ao uso de travessas de soleira contínuas (Hansen, 1971, p. 156) provavelmente como uma forma de garantir uma maior durabilidade da construção. Os regulamentos que eram emitidos pelas diferentes cidades podem também ter tido um papel importante nas diferenciações regionais que se vão encontrar entre o Sul, Centro e Norte da Alemanha (cf. figura 41).

No **Sul** da Alemanha, a característica dominante dos reticulados pesados das cidades, é para além do ressalto de reduzidas dimensões, a dimensão ampla dos vãos entre elementos estruturais verticais e as janelas pequenas. Os componentes diagonais de travamento surgem com geometrias que são descritas figuradamente como a *Schwäbische Wible* (mulher suabiana) e o *Wilder Mann* (homem selvagem) (Pryce, 2005, p. 125). A projecção característica dos pisos superiores nos edifícios de madeira que se encontra por todas as regiões, embora tenha decaído como solução ao longo do tempo, é explicada por diversas teorias. A primeira, já foi referida, considera o ressalto como um dispositivo estrutural que permite que as vigas em consola possa suportar mais cargas no interior. Outra interpretação defende que as consolas protegem os elementos estruturais dos pisos inferiores da chuva. Por fim, pode-se argumentar que no caso de utilização dos pisos superiores para

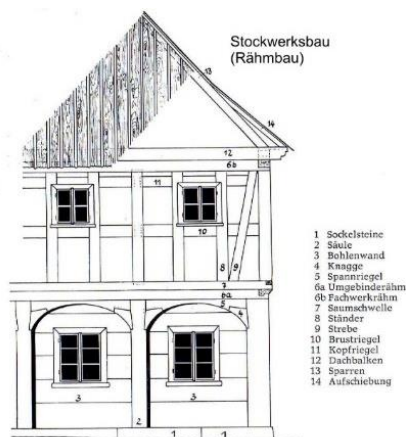


Fig. 42 - Construção tipo "umgebinderkonstruktion"
(<http://www.isb-wehner.de/umgebinderkonstruktion.htm>).



Fig. 43 - Knochenhaueramtshaus em Hildesheim, Baixa Saxónia (<http://www.uni-muenster.de/Staedtegeschichte/portal/einfuehrung/aspekte/zuenfte.html>).

armazenagem, a operação de elevação de objectos fica facilitada pelo recuo das fachadas inferiores²¹ (Hansen, 1971, p. 156).

Também no **Sul** da Alemanha surgem as casas da Suábia (*Schwaben*) ou da Floresta Negra (Swabian house) e as casas rurais da Baviera (cf. figuras 39 e 40). Na primeira, são utilizados componentes de grandes secções, sendo o piso inferior normalmente em alvenaria. Nas paredes utilizam-se pranchas maciças colocadas na vertical. As coberturas são em colmo ou em telhas, sobre uma estrutura de quatro águas cortadas nos topos. Em redor da fachada constrói-se uma galeria com balaustradas trabalhadas. Na Baviera e também no norte da Suíça surge o mesmo tipo de casa, mas na Baviera a cobertura tem duas águas com uma grande projecção para os topos e é revestida com soletos de madeira. Estas distinguem-se também das casas do norte da Alemanha das Austríacas por serem mais extrovertidas em termos de abertura de vãos para o exterior (Hansen, 1971, pp. 158-159).

No **Norte**, a *Hallenhaus* foi durante séculos o edifício agrícola predominante nos estados alemães da Baixa Saxónia, Vestfália, Schleswig-Holstein e Mecklenburg (Pryce, 2005, p. 137), abrangendo também o Leste da Holanda (cf. figura 38). Este era um edifício com três naves estruturais e com cobertura de colmo, relacionando-se mais com os celeiros monásticos do que com as casas domésticas (Pryce, 2005, p. 137). Poderá ter evoluído a partir das formas de casas grandes dos séculos VII ao XX (May, 2010a, pp. 56, 57). A estrutura baseava-se numa grelha de pilares e de asnas, com vigas contínuas dispostas sobre o alinhamento de pilares. As dimensões variavam entre 8,00m a 10,00m de largura com um espaço central entre 3,50m a 4,50m de altura e um comprimento entre 6,00m a 30,00m. A vantagem deste sistema consistia na repartição das cargas pelas duas linhas de pilares interiores, aliviando as paredes exteriores (laterais) das principais cargas da cobertura suportando assim apenas as cargas das coberturas das naves laterais. Nas paredes exteriores utilizava-se a alvenaria de tijolo entre a grelha estrutural, sendo também comum a argamassa de argila armada (*wattle and daub*). A *Hallenhaus* tinha funções de celeiro, armazém de milho, casa rural e alojamento de gado (Pryce, 2005, p. 137). A sua forma adequava-se à função de armazenamento de cereais na zona superior do edifício, podendo assim libertar-se a zona inferior para actividades como o debulhar e o malhar do milho. Esta forma permitia também evitar que o milho que era armazenado húmido pudesse secar com

²¹ Este era um argumento especialmente importante na Holanda onde as habitações urbanas tinham com frequência uma viga no topo da fachada principal associada a um guindaste para a elevação de bens.

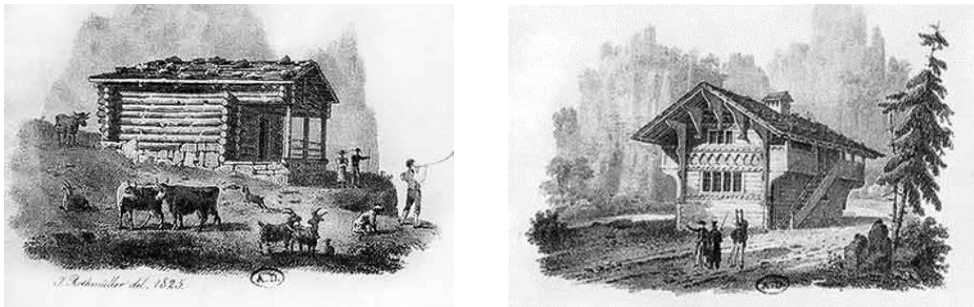


Fig. 44 - Litografias de dois tipos de Chalet, por Jacques Rothmüller, 1825 (<http://rh19.revues.org/1099>).

auxílio do fumo e do calor gerado pelo lume no piso térreo (Pryce, 2005, p. 137). O espaço central (*diele*) era dividido por zonas funcionais, ficando um dos topos reservado para a zona residencial dos camponeses. As naves laterais em geral destinavam-se ao alojamento dos animais (Hansen, 1971, p. 157).

Quanto aos reticulados urbanos do Norte, especialmente os da Baixa Saxónia, os pisos assumem balanços maiores e muitos dos edifícios urbanos têm o piso inferior em alvenaria (Hansen, 1971, p. 166). Os lotes são mais pequenos, as construções têm mais pisos e as soluções são menos elaboradas (Hansen, 1971, p. 166). Nesta região, Hildesheim e Brunswick eram centros de excepcional qualidade na construção em madeira. Viollet-le-Duc considerava o Knochenaueramtshaus (Guilda dos talhantes) em Hildesheim (cf. figura 43) o melhor edifícios de madeira do mundo (Hansen, 1971).

Nas **zonas Centrais** da Francónia os postes das casas têm uma menor distância entre si. As ligações são aqui realizadas normalmente com encaixes de macho-fêmea e as janelas de cada piso utilizam as travessas horizontais como peitoris e lintéis. No Reno Central os elementos de travamento entre os postes e as travessas adquirem padrões tão elaborados que o seu propósito estrutural deixa de parecer relevante (Hansen, 1971, p. 165). Nas casas do **Leste** da Alemanha desenvolveram-se soluções singulares, por exemplo na Prússia ocidental, onde se destacam as galerias e o recurso a sistemas mistos de construção em madeira. Encontram-se com frequência numa só casa sistemas diversos: os toros, os porticados e os reticulados pesados. Uma estrutura principal porticada no piso térreo suporta os pisos superiores em reticulados, sendo o fechamento dos espaços do piso inferior realizado com toros (cf. figura 42). Este tipo encontra-se por exemplo na Silésia e na Boémia. A *Umgebendehaus da Boémia do Norte*, é um destes tipos com toros e porticados (Hansen, 1971, pp. 159-160).

As tradições regionais muitas vezes disseminaram-se para além das suas fronteiras originais. Por exemplo as casas rurais das Balcãs, incluindo a Transilvânia e os estados da ex-Jugoslávia são devedoras da imagem das casas rurais da Francónia. Os edifícios dos primeiros colonos Germânicos eram construídos com paredes pesadas de toros mas quando a disponibilidade de madeira diminuiu o método foi substituído pelos sistemas de porticados e, reticulados e por métodos de ligação que remetem para as zonas alemãs de origem (Hansen, 1971, p. 180).

A casa de paredes pesadas de toros Alpina²² é um caso singular no panorama da Europa central onde dominam os reticulados pesados. As variações são muitas: casas rurais ou urbanas, *chalets* Suíços ou casas Alpinas do Tirol, a região do Allgäu, a Baviera Superior, a

²² Os Alpes atravessam oito países: Áustria e Eslovénia a este, Suíça, Liechtenstein, Alemanha, e França a Oeste, e Itália e Mónaco a sul.

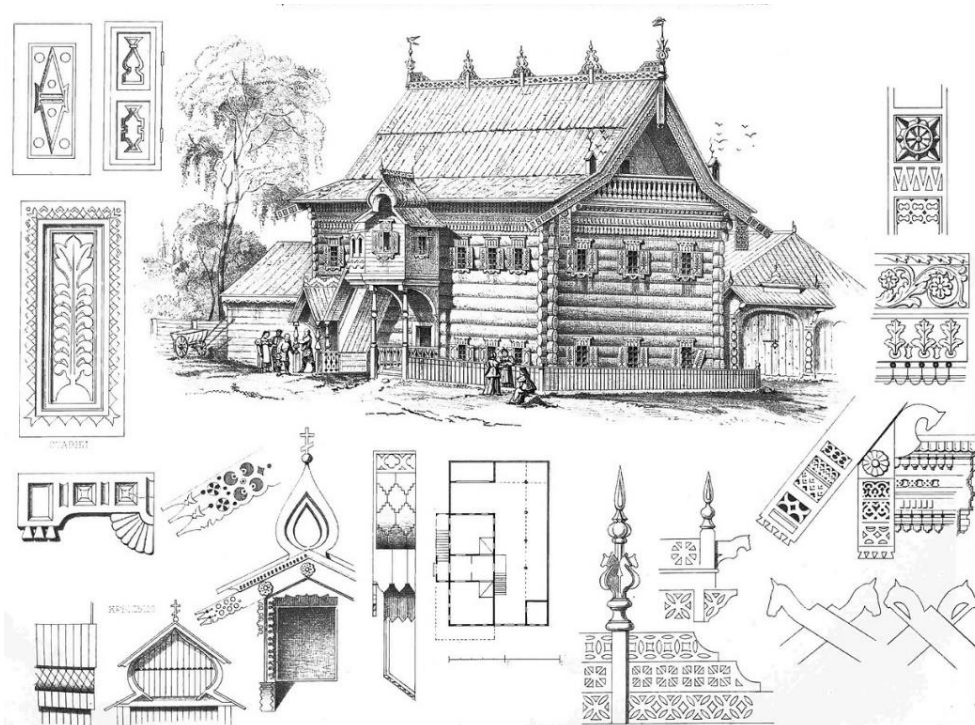


Fig. 45 - Izba na província de Kostroma, Russia. 1872 (<http://www.slavorum.com/forum/index.php?topic=2179.30>).

Estíria e a Caríntia, com as varandas características e as coberturas de duas águas com beirados em grande consola, e ainda os edifícios dos Alpes do Sul. Todas estas zonas apresentam um tipo semelhante que pode ter tido origem no arquétipo da casa céltica (Hansen, 1971, p. 180). O clima extremo dos Alpes determinou um regime de auto-suficiência de recursos no qual a floresta alpina de coníferas (Espruce, Abeto, Pinho e Lariço) desempenhava o papel de fornecedora de matéria-prima para alimentar a tradição de construções em toros. O termo “*chalet*” referia-se originalmente a um tipo simples de construções em toros (*blockwork*) nos sopés das montanhas do cantão de Vaud (Suíça) destinado aos pastores (cf. figura 44). A imagem dominante dos *chalets* alpinos reporta-se às casas da região de Berna, com as coberturas de pouca inclinação, com revestimentos de soletos de madeira ou placas de ardósia, incluindo também entalhes decorativos ou pinturas nas suas fachadas. Muitas destas casas erguiam-se sobre bases de pedra, que correspondiam normalmente a um piso de cave (Pryce, 2005, p. 144). Uma solução característica da região consiste na utilização de toros de secção rectangular com entalhes na parte superior e inferior para garantir uma maior estanquidade. As variantes encontram-se na forma como os topos salientes dos toros se dispõem: ou numa superfície contínua, ou individualizando os toros através de espaços entre os topos. Outro tipo de solução encontrada nos Alpes Austríacos, mas pouco comum, consiste em alternar toros de maior secção que se unem nos cantos com toros de menor secção para o bloqueio das juntas (Benedetti & Bacigalupi, 1988, p. 25).

I.B.6 EUROPA DE LESTE E SUDESTE

As florestas de espécies resinosas no Leste da Europa fazem parte do anel boreal que rodeia o Pólo Norte, encontrando-se também mais para sul uma grande variedade de espécies folhosas. Devido à abundância de matéria-prima, a construção em toros dominou uma área que abrange desde a Escandinávia e Mar do Norte no Oeste até à costa do Pacífico a Leste, prolongando-se até ao Mar Negro e estendendo-se a Sudoeste até à região das Balcãs (Pryce, 2005, p. 148). A zona dos Cárpatos sendo especialmente rica em madeira e tendo

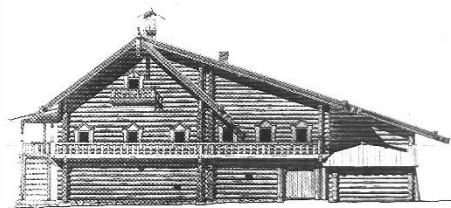


Fig. 46 - Izba em Serebka, Karelia (Opolonikov & Opolnikova, 1989).

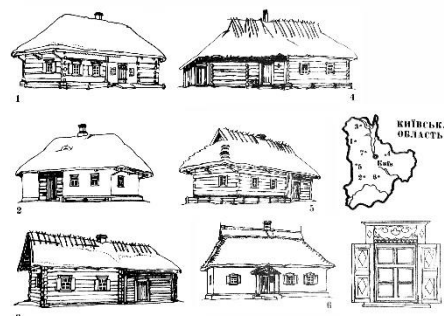


Fig. 47 - Casas do Oeste da Ucrânia (Kalman, 1994, p. 511).

sido sujeita a importantes vagas de imigração dos povos Eslavos vai ter também uma ligação cultural muito forte ao Leste (Hansen, 1971, p. 185).

O procedimento para a obtenção da madeira na Europa do Leste envolvia o abate das árvores na Primavera (antes do período de actividade e maior fluxo de seiva), deixando-se a árvore em repouso até ao Inverno para se começar a construção quando chegasse de novo a Primavera. A escolha das espécies de madeira dependia da topografia e da localização. Nas regiões mais a Norte e mais montanhosas, o Pinho e o Abeto eram as escolhas naturais (Pryce, 2005, p. 149), para além do Espruce, e do Lariço (Hansen, 1971, p. 185). Noutras regiões, mais a Sul nas zonas de fronteira com as estepes, utilizavam-se as folhosas, como a Faia, o Choupo, o Amieiro, a Tília, o Bordo, o Ulmeiro e o Carvalho (Hansen, 1971, p. 185), sendo este último especialmente reconhecido e apreciado pela sua durabilidade. O Carvalho era utilizado frequentemente para os elementos do embasamento, enquanto as madeiras resinosas eram normalmente usadas nos componentes superiores dos edifícios (Pryce, 2005, p. 149). A sua madeira era também a escolhida para a construção dos edifícios mais importantes, mesmo nas regiões onde dominavam as resinosas (Hansen, 1971, p. 185).

A expansão para Norte da Rússia deu-se no século XI a partir de Novgorod através da colonização de regiões nas margens dos rios e lagos por habitantes que, segundo Bartenev, (1972) quase na totalidade eram carpinteiros qualificados. Nesta região, devido ao seu isolamento, desenvolveu-se uma construção com características únicas. As condições técnicas e económicas permaneceram em grande parte inalteradas durante séculos, não se tendo assistido a grandes transformações no uso da madeira devido à falta de inovação nas ferramentas utilizadas. Em contraste com a abundância de matérias-primas, as ferramentas de transformação eram muito primitivas, restringindo-se ao machado, ao maço, ao formão e a outras muito básicas. Embora em certos contextos se utilizasse a serra, os carpinteiros e os camponeses comuns não a conheceram antes da época de Pedro o Grande e só no século XIX tiveram generalizado acesso a ela. Certas regiões da Rússia como Arcangel'sk, Vologda e Olenec, bem como a Sibéria ocidental, entre outras, permaneceram "isolados no tempo", mantendo até ao século XX uma tradição construtiva que era transmitida oralmente e de mestre para aprendiz (Hansen, 1971, p. 186). A competência e experiência permitia aos carpinteiros executar as diversas operações apenas com recurso ao machado. Argumenta-se (Pryce, 2005, p. 149) que o correcto uso deste instrumento no corte da madeira contribuía para manter o "grão fechado" nos componentes da construção, ao contrário das serras que "abriam o grão" expondo-o às condições adversas do clima. Nestas zonas da Rússia utilizavam-se toros redondos, mas nas regiões mais a Sul, na Eslováquia, Roménia e Ucrânia, falqueavam-se os toros em secções quadradas. O desenvolvimento e variantes da tecnologia de construir em toros consistiu principalmente na forma de estabelecer as ligações nos cantos. No século XVIII, inventou-se um tipo eficaz de ligação em cauda de andorinha,

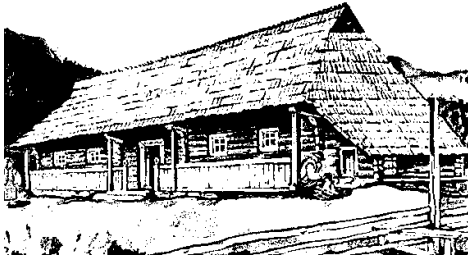


Fig. 48 - Casa Hutsul
(<http://www.encyclopediaofukraine.com/alphasearch.asp?q=Hutsul>).



Fig. 49 - Quinta Hutsul (<http://www.rusyn.org/rusyns-architecture.html>).

chamado de “*junta Germânica*” que passou a ser utilizada desde a Croácia até à Ucrânia (Pryce, 2005, p. 149).

A casa rural representa a base da arquitectura Russa em madeira²³. Os princípios de construção que a suportam constituem o modelo para construir todas as outras formas arquitectónicas (Hansen, 1971, p. 200). No Norte a casa rural é construída através da sobreposição de toros ligados nas extremidades e formando em planta uma unidade básica quadrada chamada *srub*. O diâmetro dos toros poderia ter entre 25cm e 75cm e era o seu comprimento que determinava as dimensões da construção. Nos edifícios mais simples a dimensão dos troncos poderia variar normalmente entre os 4,50m e os 6,00m (Hansen, 1971, pp. 197-199), podendo ter ocasionalmente entre os 8,00m e os 9,00m (Bartenev, 1972). Esta unidade de quatro paredes era o pólo central do edifício, surgindo depois os restantes elementos como a cobertura, as janelas, as portas, as escadas exteriores, as galerias e as varandas, os espaços, os pavimentos e os tectos (Hansen, 1971, pp. 197-199). Estabelecia-se uma relação também entre o diâmetro dos toros, que deveriam ser iguais em cada edifício, e o seu comprimento, contribuindo para um sistema de proporções equilibrado entre edifícios com toros de diferentes diâmetros (Opolonikov & Opolnikova, 1989). A estrutura da cobertura era constituída por vigas (toros) transversais que se apoiavam nas empenas e sobre as quais se colocava o revestimento de pranchas de madeira (Bartenev, 1972).

O tipo Russo por excelência é a *Izba* em toros (cf. figuras 45 e 46) que reflecte por um lado as preocupações funcionais dos habitantes e por outro expressa através da sua decoração o mundo simbólico próprio do camponês Russo. A *Izba* era normalmente de reduzida dimensão, mas por vezes podia crescer adquirindo dimensões maiores. A sua construção poderia ser concretizada por um carpinteiro local, mas nas situações mais frequentes era obra dos próprios camponeses. (Pryce, 2005, p. 150). Para além dos aspectos de entalhe e pintura da madeira, as proporções obedecem a uma disciplina rígida. As dimensões utilizadas estavam limitadas às relações básicas 1:1 e 1:2. No entanto construía-se sem um projecto ou um programa prévio (Hansen, 1971, p. 188).

Encontram-se três principais tipos de *Izba*: no norte são de maiores dimensões e em geral com dois pisos; as *Izbas* da Rússia central que são menores; e as do sul nunca têm cave. Na *Izba*, as condicionantes climáticas e económicas são determinantes. Os dois pisos e a existência de escadas exteriores surgem de uma necessidade prática. O piso inferior destinado ao gado e aos serviços rurais estava sujeito a ficar obstruído pela neve no Inverno, mas a componente habitacional, no piso superior estava sempre salvaguardada pela cota elevada e pela existência de um acesso independente. Por razões de conforto previa-se uma

²³ Segundo o historiador Igor Grabar “The history of Muscovite Architecture is largely the history of wooden design transferred to masonry buildings (Opolonikov & Opolnikova, 1989).

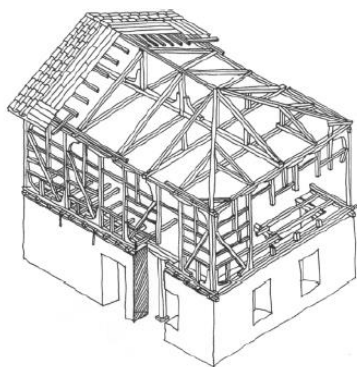


Fig. 50 - Esquema estrutural de casa típica do centro de Lefkada, Grécia (Vintzileou, 2011).

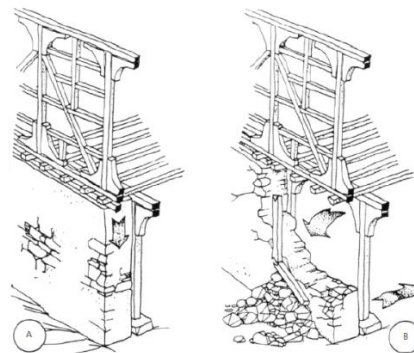


Fig. 51 - Objectivo da estrutura secundária do piso térreo das estruturas em Lefkada (Vintzileou, 2011).

distinção entre as zonas habitacionais de Verão e de Inverno. A zona de Verão era aquela em que se investia na decoração, no mobiliário e nos aspectos simbólicos, coincidindo por isso com a frente da casa (que normalmente era uma das paredes maiores na vertente Sul. Já a zona de Inverno tinha uma lareira, sendo chamada a zona negra ou de fumo. Por vezes construíam-se duas escadas de acesso independente a cada uma dessas zonas, sendo a escada de Verão a mais elaborada (Hansen, 1971, p. 188).

As molduras dos vãos e a empena da *Izba* são os elementos onde a decoração vai incidir com maior intensidade, dando lugar a estilos regionais baseados em temas e regras próprias. Nos territórios centrais do Volga superior, por exemplo, os carpinteiros que durante o século XIX deixaram de fazer as embarcações tradicionais em madeira (que entretanto se modernizaram), transferiram as suas competências para a construção e alguns dos temas utilizados nos barcos migraram naturalmente para as casas. No final do século XIX, depois de um excesso decorativo esta prática, que no entanto nunca foi adoptada nos territórios mais a norte entrou em declínio (Hansen, 1971, pp. 197-199).

Podem encontrar-se na Rússia outras variações da *Izba*, sendo a mais característica aquela em que é adicionado ao edifício residencial um conjunto de instalações rurais que lhe conferem uma forma assimétrica (Opolonikov & Opolnikova, 1989). Apesar das variações tipológicas, a *Izba* normalmente incluía uma série de elementos simbólicos que contribuíam para o sentimento de pertença e protecção não só contra os elementos do clima, mas também contra aquelas que se acreditavam ser as “forças ocultas do mal”. Grande parte desses elementos estavam na cobertura que se projectava para além das empenas e das paredes laterais. No final da viga de cumeeira normalmente colocava-se uma figura que era o *polotense* (com o significado da pureza humana), normalmente complementado com outros elementos decorados, os *prichelini*, iluminados pelo sol a diferentes alturas do dia e que no seu conjunto significavam a vitória do bem contra o mal (Opolonikov & Opolnikova, 1989).

Em regiões onde a floresta oferecia uma grande diversidade dispunha-se de uma tal amplitude de espécies que estas podiam ser utilizadas criteriosamente segunda a função dos elementos de construção. Por exemplo na Sibéria para as três fiadas iniciais de toros, bem como para as vigas de cobertura, caleiras e postes de portões escolhia-se o Lariço, pelas suas características de impermeabilidade. O Pinho era utilizado para os restantes toros das paredes e para as régua de pavimento e de tecto por ser fácil de trabalhar e ter boas características de isolamento térmico. O Pinho Siberiano era aplicado nas janelas, e molduras pelo seu grão e textura. Finalmente as pranchas de cobertura eram de Abeto (Opolonikov & Opolnikova, 1989).

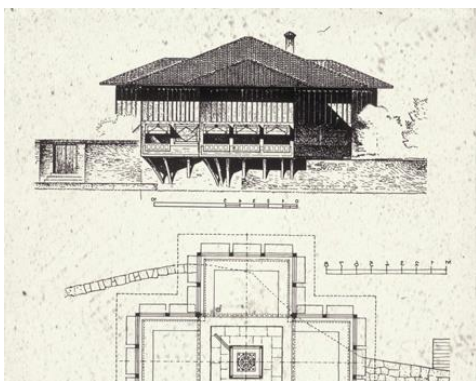


Fig. 52 - Fachada e planta do Yali Hüseyin Köprülü Pasha (<http://web.mit.edu/4.611/www/L16.html>).



Fig. 53 - Yali no Bósforo, com reticulados pesados (http://regencytales.blogspot.pt/2013/08/a-home-for-my-hero_11.html).

Na casa rural Ucrâniana (cf. figura 47) desenvolveram-se diferentes sistemas de construção porque as regiões das estepes não disponibilizavam uma floresta que pudesse abastecer um tipo generalizado de construção em madeira integral. Adoptaram-se por exemplo os reticulados pesados com preenchimento dos vazios estruturais com argamassas armadas. Não deixou no entanto de se construir com toros como aconteceu com as habitações do tipo “*Volhynian*” que têm semelhanças com as da Rússia do Norte. Estas casas têm uma cobertura em colmo e os espaços de apoio agrícola e pecuário não estão integrados na habitação. Também não se utilizam escadas exteriores, um facto que se deverá em parte a condições climáticas menos rigorosas (Hansen, 1971, p. 199).

Surgem ainda pelos vastos territórios do leste, tipos específicos como o da casa da Galícia (cf. figuras 48 e 49) da Ucrânia, com um sistema de pranchas de madeira, construída pelos Huzulians (Hutsuls), habitantes pastores da zona montanhosa, especialmente dotados para trabalhar a madeira (Hansen, 1971, p. 200).

No Oeste da Ucrânia, recorria-se a diferentes sistemas construtivos ainda que a tipologia espacial fosse muito constante. O primeiro e predominante era o sistema dos toros horizontais com as variantes de ligações de canto em sela ou em cauda de andorinha. Outro sistema, utilizado em zonas de menos disponibilidade de matéria-prima era o dos postes com toros encaixados entre eles, utilizando-se ocasionalmente o sistema de toros verticais ligados a vigas de soleira e de topo. Era frequente o procedimento de revestir os toros com uma argamassa de argila, areia e água, estruturada com uma combinação de palha e pelo de cavalo ou de vaca e aplicada em duas camadas, sendo a camada final acabada com cal que por vezes era colorida. O objectivo principal das argamassas seria o de selar as juntas, conferindo também uma protecção para a madeira. A cobertura tinha uma inclinação pronunciada e o revestimento de colmo era uma das constantes formais da região (Ledohowski & Butterfield, 1983, pp. 56, 57).

Muitas outras regiões desta zona geográfica apresentam tradições importantes de construção em madeira. Na Polónia, para além da zona montanhosa do Sul e nas regiões ocidentais onde os reticulados pesados predominavam, é possível encontrar as casas rurais de piso térreo que eram construídas com paredes pesadas de toros tal como na Rússia. Na zona da antiga Checoslováquia os edifícios em toros dominam na Morávia de Leste e em Beskid, surgindo na Boémia com mais visibilidade os reticulados pesados. Nos Cárpatos, Hungria, Roménia e nos Balcãs, os tipos de construção evidenciam um misto de influências do Leste e da Europa Central, observando-se a presença de construções de paredes pesadas de toros e de reticulados pesados (Hansen, 1971, p. 213), surgindo sempre sistemas muito singulares como as casas rurais da Sérvia central que têm paredes leves de pranchas de 15cm de

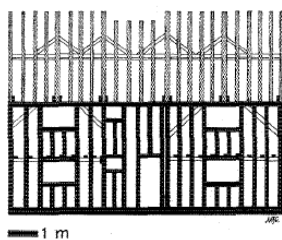


Fig. 54 - Estrutura da casa Fairbanks, Dedham, Massachusetts - 1636 (Clayton, 1990).



Fig. 55 - Casa Fairbanks
(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fairbanks_house_dedham.jpg).

espessura, recorrendo ao método de ligação dos toros nos cantos e com uma cobertura típica de um porticado (Oliver, 1987, p. 95).

I.B.7 EUROPA DO SUL

As florestas mediterrânicas da Europa do Sul, não disponibilizavam a mesma abundância de recursos da Europa central e da Ásia. Apesar de ter sido recorrentemente utilizada a madeira nos edifícios rurais de carácter mais temporário e como complemento da construção em coberturas e pavimentos e em especial nos reticulados pesados dos edifícios urbanos, os exemplos mais representativos da arquitectura vernacular que se encontram em Portugal, Espanha, Itália e Grécia não são de madeira.

O clima, a floresta de menor qualidade e um conjunto de condições mais adversas à durabilidade da madeira serão factores que ajudam a explicar a escassez de formas arquitectónicas de madeira estrutural integral, com importância para a História da Construção. De todos os factores, talvez o clima seja o mais determinante uma vez que a criação de uma envolvente pesada permite enfrentar melhor os Verões quentes, e os Invernos com temperaturas relativamente moderadas (em comparação com o Norte da Europa). As paredes pesadas em alvenaria cumprem os requisitos de conforto e proporcionam directamente uma solução estrutural para suportar a cobertura e eventualmente um piso adicional.

A solução de estruturas mistas de madeira e alvenaria, que seria a solução dominante na Idade Média, será apurada tendo em vista melhorar as características mecânicas dos edifícios. Em Portugal é por demais conhecida a notável estrutura da gaiola pombalina que surgiu depois do terramoto de 1755. Na Grécia, os reticulados pesados teriam sido comuns na arquitectura tradicional, podendo ser observados em especial na ilha de Lefkas (cf. figuras 50 e 51). Na Turquia, desenvolveram-se sistemas de reticulados pesados preenchidos com alvenaria (*himis*) ou com peças de madeira (*bagdadi*) (Vasconcelos, Lourenço, & Poletti, 2013). Na Itália, para além da casa Alpina Rústica (Hansen, 1971, p. 228), que é um fenómeno do Norte, destaca-se a adopção de medidas construtivas anti-sísmicas, através do uso de reticulados, no seguimento dos sismos da Calábria em 1783 e de Messina em 1908. (Hansen, 1971).

A Turquia embora partilhando o Mediterrâneo e a latitude geográfica com os países da Europa do Sul, dispõe de uma arquitectura doméstica que durante muitos séculos foi dominada pela construção em madeira. Os Turcos eram originalmente povos nómadas que viviam em abrigos móveis, os *yurt* adaptados a uma vida móvel e às condições rigorosas de neve, chuva e vento das planícies da Anatólia. O tipo residencial que evolui a partir deste legado consiste na transformação e evolução para a pedra, o tijolo e a madeira dos padrões funcionais associados ao espaço circular do *yurt*. Os materiais mais utilizados na construção variam de região para região, mas a madeira é considerada tradicionalmente como rara e cara. No entanto em determinadas cidades como Saframbolu na costa oeste do Mar Negro, a madeira é o material de construção principal. Os elementos característicos destas casas são

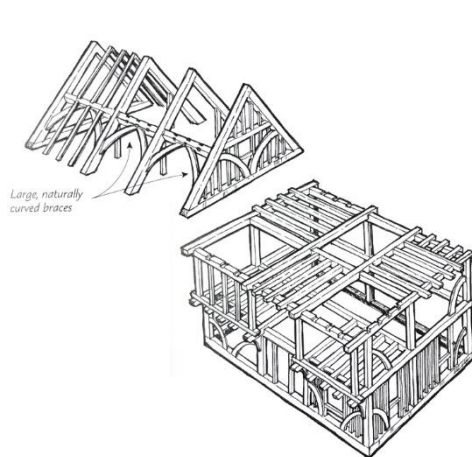


Fig. 56 - Casa Inglesa com reticulados pesados (Benson, 1977).

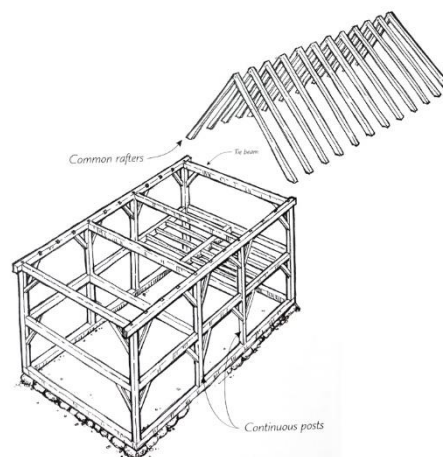


Fig. 57 - Casa colonial Americana com porticados (Benson, 1977).

as coberturas balançadas e os cachorros que auxiliam as consolas. A estrutura é um reticulado pesado que inclui elementos de contraventamento oblíquos e ressaltos que aumentam a área das casas a partir de uma base que é tratada como um pódio de alvenaria (Steele, 2009b, pp. 197-199).

No século XVII, desenvolveu-se na Turquia a tradição de construir os *yalis* ao longo do Bósforo (cf. figuras 52 e 53) com a técnica dos reticulados pesados que seria semelhante à da Europa Ocidental. O preenchimento dos vãos entre a estrutura era realizado com tijolos de argila ou simples adobe, sendo depois o exterior revestido com perfis de madeira (pranchas). Os postes eram colocados a reduzida distância uns dos outros, sendo a superfície interna acabada com uma forma de argamassa estruturada, aplicada sobre um fasquiado pregado à estrutura. Para além da madeira de Pinho que era a mais utilizada, recorria-se também ao Zimbro, ao Cedro, à Aveleira e ao Choupo. As madeiras folhosas como o Carvalho e o Castanheiro eram utilizadas apenas pelos proprietários mais ricos. Os mercados de Istambul disponibilizavam elementos de construção normalizados tais como vigas, vigotas de cobertura e perfis de revestimento. As coberturas eram revestidas normalmente com telhas e os revestimentos de madeira no exterior eram pintados muitas vezes com um vermelho terracota, referido como o “Otomano rosa”²⁴. Depois da I Guerra Mundial, o regime da Republica afirmou-se com base num choque com a anterior cultura dos Sultões, reflectindo-se esse ambiente ideológico na decadência da construção em madeira. (Pryce, 2005, pp. 169-170).

I.C América do Norte

I.C.1 ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

A arquitectura colonial da América do Norte foi determinada desde o início por dois factores distintos: por um lado a raiz cultural Europeia e por outro lado a capacidade de inovar perante condições que exigiam novas soluções. Se no século XVII e XVIII foi marcante a grande influência dos países de origem dos colonos, a partir do século XIX a América do Norte construiu uma identidade com características próprias (Hansen, 1971, p. 235). Os focos de

²⁴ As casas eram construídas ao longo do Bósforo sobre estacas de madeira com amplas janelas tipo “bay window” destinadas a otimizar o efeito das brisas. Desenvolveu-se também nos *yalis* um sistema de painéis móveis que permitiam adaptar as necessidades de ventilação das salas às condições de Inverno e Verão. No século XVIII era possível notar já uma variedade de cores que distinguia os respectivos proprietários (por imposição Otomana): cores pastel para os turcos, vermelho para os arménios, cinza chumbo para os gregos e negro para os judeus de origem espanhola. A influência Europeia fez-se sentir no século XIX através de um maior eclectismo nas formas e através da introdução de um “piano nobile”. Mantiveram-se no entanto as influências orientais através dos painéis das janelas que protegiam os *harem* e as coberturas “chinesas”.



Fig. 58 - Jethro Coffin House, Sunset Hill, Nantucket, Nantucket County, MA (Historic American Buildings Survey) (<http://www.loc.gov/pictures/item/ma0320.photos.074440p/res>).

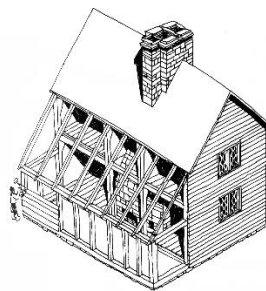


Fig. 59 - Esquema da adição de uma Saltbox (Walker, 2002).

colonização na América do Norte dão-se em Cheasapeake Bay (Virgínia) e na Nova Inglaterra com os Ingleses, em St. Augustine com os Espanhóis, no vale do rio Hudson com os Holandeses e no vale do rio Delaware com Alemães, Escoceses e Irlandeses, para além da colonização Francesa que se estendeu para sul a partir do actual Canadá (Walker, 2002). No processo de avanço para os territórios do interior, as diversas culturas europeias, são misturadas com a cultura Inglesa que continuará a ser sempre a dominante. O domínio Inglês no entanto não eliminou as identidades locais que se irão manter, como aconteceu com a cultura Francesa no delta do rio Mississípi.

O enraizamento da cultura da construção em madeira na América do Norte é bem ilustrado pelas queixas de Thomas Jefferson quanto aos preconceitos dos Americanos em relação às casas de alvenaria:

"The unhappy prejudice prevails that houses of brick or stone are less wholesome than those of timber." (Pryce, 2005, p. 172)

A importância da construção em madeira nos Estados Unidos da América justifica-se em primeiro lugar pela abundância dos recursos florestais: quando os primeiros colonos chegaram, 45% da superfície do continente estava coberta com floresta. Os primeiros colonos europeus²⁵ (à excepção dos Espanhóis e em parte os Holandeses) elegeram por esse motivo a madeira como o recurso principal para a construção, mas também porque já tinham uma experiência adquirida nos países de origem, das técnicas de construção com os reticulados e os porticados de madeira (Hansen, 1971). Na Nova Inglaterra²⁶, as primeiras árvores utilizadas foram o Carvalho e o Castanheiro, embora houvessem também florestas de Pinho (*White pine* e *Red pine*) e de Espruce (Pryce, 2005, p. 172). Nas fases posteriores da colonização, as florestas envolventes aos grandes lagos provaram ser uma fonte óptima de madeira comercial, tendo-se instalado aí os pólos principais da indústria madeireira. As árvores eram abatidas durante os meses de Inverno e eram depois amarradas e transportadas em trenós ao longo de caminhos cobertos de gelo. Na Primavera, os toros seriam então lançados aos rios e guiados até ao destino. A carpintaria dominava de tal modo os ofícios da construção que haveria no final do século XVIII quatro vezes mais carpinteiros do que o total dos outros ofícios (Pryce, 2005, p. 172).

Jameston na Virgínia, fundada em 1607 um pouco antes das colónias da Nova Inglaterra, foi uma das primeiras colónias de Europeus (Ingleses) da América do Norte²⁷. Os abrigos iniciais

²⁵ Os primeiros colonos da grande migração das décadas de 1630 e 1640 vinham maioritariamente do Leste e Sudeste de Inglaterra. A sua motivação não era tanto a procura de fortuna, mas antes a fuga de perseguições religiosas. Eram maioritariamente artesãos e classes médias com um número importante de carpinteiros que transportaram os conhecimentos da construção em madeira (Pryce, 2005, p. 176).

²⁶ Os Estados da Nova Inglaterra (Massachusetts, Connecticut, Rhode Island, New Hampshire, Vermont e Maine) são aqueles onde mais vestígios se encontram da arquitectura do século XVII

²⁷ St Augustin na Flórida fundada pelos Espanhóis em 1565 será a primeira colónia Europeia, seguida de Port Royal fundada pela França em 1605 na Nova Scotia.

EARLY AMERICAN HOME

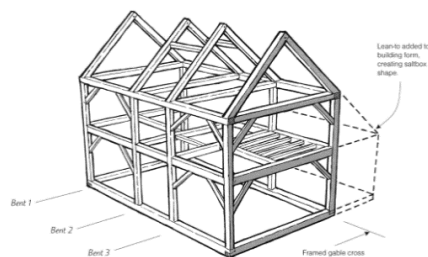


Fig. 60 - Estrutura porticada tipo "timber frame" da América do Norte (Benson, 1977).

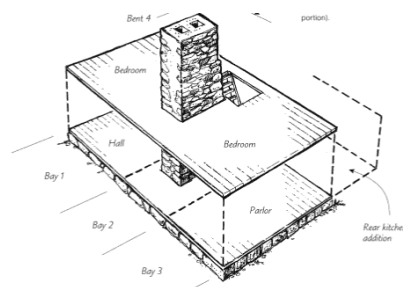


Fig. 61 - Distribuição espacial de uma casa de colono na América do Norte (século XVII) (Benson, 1977).

seriam semiesféricos (tipo *wigwam*), inspirados nos abrigos indígenas, com uma estrutura de reticulados leves básicos construída com ramos de pequena secção formando uma cúpula que era revestida com argila e outros materiais como a palha (Steele, 2009b, p. 11). Estas construções foram depois substituídas por pequenas cabanas de estruturas porticadas rectangulares²⁸ montadas com pilares, implantados em cada canto, distribuindo depois os perfis de revestimento horizontais sobre estes, terminando a construção com uma cobertura de colmo (Steele, 2009b, p. 9). Os colonos mais modestos viveriam em cabanas de piso térreo, chamadas "*puncheons*", construídas com toros verticais cravados no solo a uma profundidade de 60cm, sendo os intervalos entre os toros preenchidos com argila e depois cobertos com perfis horizontais (Steele, 2009b, p. 11). Nesta região, para além da construção em madeira inspirada na casa medieval Inglesa, desenvolvem-se também habitações mais elaboradas com tijolo devido à disponibilidade de argila e ao conhecimento de alguns colonos sobre o processo de cozimento do tijolo (Savage & Lee, 1984).

Na Nova Inglaterra (Plymouth, Massachusetts), sujeita à colonização de grupos religiosos "puritanos" em 1620, as habitações iniciais, construídas no interior de uma paliçada, replicaram as *cottages* Medievais de Inglaterra de porticados pesados, com ligações de encaixe, montantes secundário, preenchimento com argamassas armadas, revestimento final de régua de madeira e cobertura de colmo. Segundo Walker (2002, p. 42) só depois, os colonos que foram chegando se passaram a alojar temporariamente em abrigos tipo *Wigwam*. Terá sido a casa típica de East Anglia, no Sudeste de Inglaterra, de início do século XVII o modelo de referência de algumas destas primeiras casas coloniais, que incluíam dois espaços térreos e uma chaminé central com uma escada adossada de acesso ao ático (cf. figuras 60 e 61). A tendência geral da construção das colónias de tradição Inglesa será sempre no sentido de aligeirar os modelos iniciais de reticulados pesados (cf. figuras 56 e 57).

Na casa Fairbanks, em Dedham, Massachusetts (1636-1637), considerada a casa mais antiga da Nova Inglaterra (cf. figuras 54, 55 e 67), apesar das alterações que foi sofrendo, pode-se encontrar ainda algo da matriz original da construção Inglesa. A estrutura é constituída por um porticado de pilares e vigas, que assenta numa viga de soleira, por sua vez montada sobre uma parede de fundação pouco profunda, com os vazios preenchidos por argamassa estruturada (*wattle and daub*) (Hansen, 1971, p. 236) (Pryce, 2005, pp. 176-177). As secções dos componentes seriam de 11"x11" para as vigas, de 5"x5" para as vigas de pavimento e de 4"x6" para os prumos intermédios (Lerley, 1999). Os componentes estruturais terão sido cortados com machado e aplainados com ençó de carpinteiro, as suas ligações foram executadas com encaixes tipo mecha e respiga e a montagem terá sido executada com a madeira verde. O revestimento exterior foi realizado com perfis horizontais sobrepostos em camadas sucessivas, naquela que passou a ser uma característica da construção da Nova

²⁸ Segundo Walker (2002) estas primeiras cabanas seria de reticulados pesados com os elementos de madeira à vista.



Fig. 62 - Johannes Van Nuyse-Magaw House, Brooklyn, Kings County, NY.
(<http://www.loc.gov/pictures/item/ny0251.photos.116849p/resource/>).



Fig. 63 - Parlange Plantation, State Highway 93, New Roads, Pointe Coupee Parish,
(<http://www.loc.gov/pictures/item/la0022.photos.073222p/resource/>).

Inglaterra. Estes perfis tinham uma forma de cunha, com cerca de 15cm de altura e 1,80m de comprimento (Hansen, 1971, p. 236). Segundo Clayton (Clayton, 1990, p. 84) os perfis teriam 1,20m de comprimento, resultando daí o módulo de 0,40m de afastamento normalmente utilizado em sistemas posteriores como o *balloon-frame*. A casa foi sendo ampliada ao longo do tempo, tendo a ampliação inicial seguido a regra de adição que deu depois origem a um modelo muito comum no Massachusetts designado por “*saltbox*” (cf. figuras 58 e 59) pela sua assimetria (Pryce, 2005, p. 179).

Encontram-se em Cape Cod exemplos puros do tipo *saltbox* (como a casa Hoxie de meados do século XVII) utilizando um sistema particular de construção designado por “*plank*”. Este sistema situa-se entre a categoria dos porticados pesados e das paredes leves de pranchas, consistindo de uma estrutura com apenas pilares de canto, viga de pavimento e viga de topo, mas sem montantes intermédios regulares. A rigidez é conferida pelo uso de pranchas de 30cm a 45cm de largura pregadas verticalmente nas duas vigas, superior e inferior. Estas pranchas eram revestidas pelo exterior com perfis de madeira horizontais ou com *shingles* de madeira. Para a cobertura utilizava-se o mesmo sistema sendo as pranchas aplicadas directamente sobre as vigas (ou caibros), sendo depois aplicado o acabamento com *shingles* de madeira. Pelo interior, aplicava-se um fasquiado apoiado nas pranchas das paredes, sobre o qual era por sua vez executado um reboco, resultando assim numa envolvente com muito reduzida espessura (Pryce, 2005, p. 179). A partir de 1680, o tipo *saltbox* generalizou-se de tal forma que começou a ser construído de raiz, com a forma típica que incluía a faixa adicional dedicada aos espaços de cozinha, de despensa e ainda um compartimento para os partos e para doentes (a designada *borning room*) (Walker, 2002).

Em geral as casas coloniais do século XVII caracterizam-se formalmente pelos volumes básicos, com transições abruptas entre elementos e uma grande contenção ornamental. Sendo um tipo de construção dirigido para o homem comum, um dos poucos elementos decorativos eram os pendentis que se colocavam por vezes sob os pisos em balanço. Benson (1977) considera que a evolução da casa Inglesa para a casa colonial Americana levou à adopção de uma solução mais simples de construir, menos consumidora de madeira, com componentes de grandes secções e maiores comprimentos (Benson, 1977).

Um dos tipos mais disseminados (nos 300 anos seguintes) na arquitectura americana foi o “Cape Cod” que correspondia inicialmente a uma forma básica com apenas um espaço único e era posteriormente sujeita a várias ampliações. A duplicação do espaço fazia-se através da adição de um volume adjacente à chaminé, que estava no exterior da primeira unidade, remetendo-se esta para o interior (Pryce, 2005, p. 179). A cobertura de inclinação pronunciada era uma adaptação às condições locais do clima com neve e chuvas fortes. A profundidade da casa era determinada pelo comprimento das árvores que se obtinham a partir da limpeza dos terrenos e que davam origem às vigas transversais. A limpeza dos



Fig. 64 - Mount Vernon, Mount Vernon Memorial Highway, Mount Vernon, Fairfax County, VA (<http://www.loc.gov/resource/hhh.va0436.photos?st=gallery>).



Fig. 65 - Kingscote, Bellevue Avenue & Bowery Street, Newport, Newport County, RI. Vista Sudoeste (<http://www.loc.gov/item/ri0060/>).

terrenos consistia também em remover as pedras que formavam obstáculos à actividade agrícola e que eram também utilizada para as fundações e para as chaminés. Os vãos tinham dimensões reduzidas e as empenas orientavam-se a norte ou noroeste para protecção dos ventos dominantes. A lareira, de amplas dimensões instalada em geral no meio do espaço era utilizada para cozinhar e para aquecimento do ambiente interior. A cal era rara e difícil de processar pelo que o interior seria frequentemente revestido com pranchas horizontais (Hansen, 1971, p. 236).

Para além da matriz Inglesa em Nova Inglaterra, encontram-se outros modelos à medida que se caminha para sul ao longo do Atlântico (Nova York, New Jersey, Delaware e Pensilvânia). As construções dos colonos de proveniência não Inglesa baseavam-se em modelos tardo-Medievais simplificados tendo a sua difusão sido restringida pelo domínio da cultura Inglesa. Os Holandeses perderam as colónias para a Inglaterra e os Franceses e Espanhóis ficaram confinados ao Canadá a Norte e ao México a sul, no entanto cada identidade cultural foi permanecendo em zonas específicas, contribuindo mais tarde para servir de referência aos vários revivalismos do século XIX e XX.

Apesar da tradição Holandesa ter por base o tijolo e a pedra, nas zonas em que o contacto com os Ingleses era maior, os modelos, que se distinguiram pela forma da cobertura amansardada e pelos beirados em balanço (cf. figura 62), eram transferidos para a construção em madeira (Savage & Lee, 1984). Quanto à tradição Francesa, apesar da vastidão que o império colonial atingiu, a sua cultura arquitectónica ficou confinada ao Canadá e à Louisiana porque na maior parte do território a colonização era efectuada através da instalação de fortes que funcionavam apenas como entrepostos de comércio com as populações índias. Na Louisiana a partir de 1720, os Franceses construíram um tipo singular: casas com um pavimento elevado do solo e paredes pesadas de postes cravados no solo (*poteaux en terre*) sobre os quais se erguia uma cobertura inclinada, rodeada depois por uma segunda cobertura menos inclinada que formava uma galeria perimetral ritmada por pilares. Esta primeira casa colonial terá evoluído do ponto de vista formal e construtivo para um sistema mais simples e com maior durabilidade, sem galerias e com paredes de reticulados pesados (*brique-entre-poteaux*). O tipo original foi desenvolvido pelos proprietários franceses de plantações por volta de 1740 dando origem na Louisiana às casas de plantação (cf. figura 63) com um piso térreo de serviço em alvenaria e um piso superior com estrutura de madeira e uma característica galeria em toda a envolvente (Walker, 2002).

Nos antípodas dos sistemas porticados e reticulados que têm alguma semelhança entre si, surge a tradição da cabana de troncos (*log cabin*) que tem um significado especial na História dos Estados Unidos da América, remetendo para o imaginário popular da vida de Abraham Lincoln em jovem. Walker (2002) aponta os Suecos que se instalaram ao longo do rio

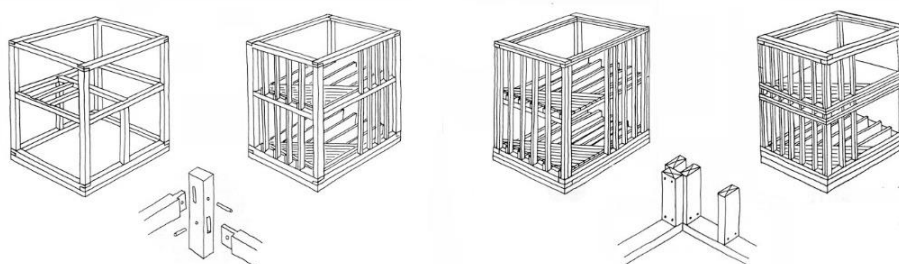


Fig. 66 - Evolução dos sistemas construtivos na Casa Americana: Post and Girt, Braced Frame, Balloon-frame, Platform frame (Savage & Lee, 1984).

Delaware em 1638, na designada New Sweden (partes da Pensilvânia, New Jersey e Delaware) como os responsáveis pela introdução do sistema de toros na América do Norte através de uma tipologia de sala única com lareira exterior. Mas o sistema está relacionado também com uma tradição (a *Midland tradition*) introduzida pelos colonos Germânicos que se instalaram primeiro nas *Midle colonies* (Pensilvânia, New Jersey, Delaware e Maryland) originalmente com uma tipologia que contemplava uma chaminé central e três divisões internas e que evoluiu depois quando se deu a migração para o interior do continente. Com a elaboração de colonos provenientes da Escócia, Irlanda e de Inglaterra o esquema simplificou-se numa tipologia básica, próxima da Sueca, de uma única sala (Savage & Lee, 1984, p. 82). Uma das dificuldades do sistema de toros consistia na sua ampliação pelo que as tipologias iniciais de uma sala (chamadas de *pen* e limitadas pelo comprimento dos toros) evoluíram através da junção de duas unidades independentes unidas através da cobertura e articuladas por um espaço central que, ou duplicava a lareira (tipologia “*hungover*”) ou constituía um hall coberto exterior (tipologia “*dogtrot*”) (Walker, 2002, p. 55).

As vantagens do sistema de paredes pesadas residiam no facto de se poder utilizar um material que estava imediatamente disponível, proporcionando um tempo de montagem muito rápido. Raramente a cabana de troncos tinha mais que um piso, sendo as empenas mais difíceis de construir devido à forma triangular, recorrendo-se por vezes a paredes aligeiradas nestas zonas. No início, os vãos de janelas e portas eram apenas espaços vazios deixados entre os toros com portadas para os fechar. As chaminés eram também realizadas com toros revestidas a argila para prevenir a combustão do material. Os pavimentos eram realizados com pranchas de madeira e o revestimento da cobertura era realizado com *shingles* de madeira. Assim, aproveitava-se a maior parte da matéria-prima das árvores abatidas para uso nos diversos componentes. O comprimento das cabanas era limitado pelo comprimento médio dos troncos de árvores, podendo apenas aproveitar-se a zona direita do fuste, o que corresponderia em média a cerca de 6,00m. A partir de 1800 a cabana de toros típica do Sul passa a ter dois pisos, uma chaminé de tijolo em cada topo e uma cobertura de duas águas revestida com chapas metálicas (Steele, 2009b, pp. 25, 26).

A influência dos países de origem nunca deixou de fazer notar, sendo esta a partir de determinada altura mais importante ao nível dos aspectos estilísticos da arquitectura. Os Ingleses em 1700 começaram a importar modelos arquitectónicos segundo as regras do *Georgian style* que dominou as colónias durante século XVIII e depois no *Adam style*, seguidos de um primeiro revivalismo Clássico até cerca de 1850 (Savage & Lee, 1984). As várias influências estilísticas chegavam à América de Inglaterra em grande parte por via dos livros de padrões de arquitectura (*pattern-books*). O gosto Paladiano e as influências de Wren e Lord Burlington eram transmitidos por esta via. Desenhos técnicos com plantas, alçados e

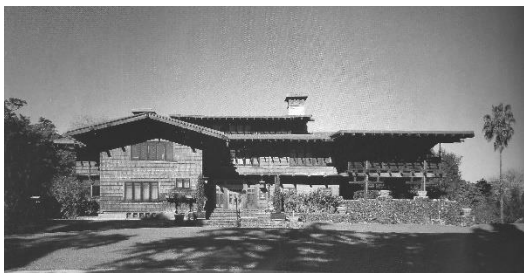


Fig. 69 - David Gamble House 1907 (Makinson & Heinz, 2004).



Fig. 70 - Henry Greene House, 1904 (Makinson & Heinz, 2004).

apreciada, valorizando-se as suas características de funcionalidade e economia proporcionadas pelo reduzido pé direito, pela eficácia térmica durante o Inverno e pelo conforto dado pela ventilação no Verão (Steele, 2009b, p. 6). Do ponto de vista simbólico a casa colonial tornou-se também um ícone da cultura americana representando os espírito dos pioneiros com a sua austeridade e aproximação à natureza.

Contrariando as tendências ecléticas, a seita religiosa dos Shakers fixados no Norte da Nova Inglaterra e no Estado de Nova York, destacou-se por um estilo funcional e depurado. As suas habitações baseavam-se muito no modelo das *“meeting houses”* onde os encontros comunitários tinham lugar. O aspecto exterior remetia para os modelos da arquitectura Anglo-Holandesa do Vale do Rio Hudson, com os seus telhados quebrados (*gambrel*). Uma crença central dos Shakers consistia em considerar que o trabalho afastava as pessoas do pecado pelo que a sua ética santificadora do trabalho deveria estar expressa nos produtos e construções. Em consonância com estes princípios a sua arquitectura resulta assim simples e utilitarista (Pryce, 2005, pp. 196, 197).

Ao nível individual, arquitectos como Henry Hobson Richardson reagiram também aos eclectismos demasiado pitorescos com um sentido de simplicidade e solidez apurando o designado *“shingle style”* cujas características podem ser observadas na sua Stoughton House (1882) (Hansen, 1971). O *“shingle style”* será o correspondente na América ao movimento *Arts and Crafts* inglês na América. Assim como na Inglaterra os arquitectos e artistas se tinham voltado a interessar-se pela arquitectura Tudor e Isabelina (*Elisabethan*), na América, revisitou-se o século XVII na baía de Massachusetts e o século XVIII na baía de Rhode Island. Para além de Richardson, outros Arquitectos como McKim, Mead and White são os grandes promotores do novo estilo (*“shingle style”*), informal nos volumes e na planta, influenciados não só pela arquitectura dos primeiros colonos, mas também pelas culturas do Japão, do Egipto e do Islão (Pryce, 2005, pp. 204-205).

A Revolução Industrial em vez de travar a construção em madeira deu, no século XIX, um impulso ao seu desenvolvimento através do sistema de reticulados leves, designado por *“balloon-frame”* (cf. figura 66). A invenção do *“balloon-frame”* tem sido atribuída tanto a George Washington Snow, um engenheiro civil e empresário, como a Augustine Deodat Taylor, um carpinteiro e construtor. O cenário da invenção é a Chicago do século XIX, uma cidade cujo aumento rápido da população cria uma forte procura de construção e especialmente de habitação. As primeiras referências escritas ao *“balloon-frame”* datam de 1835 através de uma carta privada em que se descreve o sistema. Em 1846 no *“The American Agriculturist”* descreve-se mais em pormenor o sistema, sublinhando a sua leveza, a ausência de encaixes e a ligação entre elementos através de pregos. Deodat Taylor foi associado à construção em 1833 da St. Mary’s Church em Chicago, sobre a qual se diz que foi o primeiro edifício construído com o novo sistema. No entanto Turan (2009) demonstra que a atribuição desta invenção, quer a um quer a outro carece de provas. Não há documentos

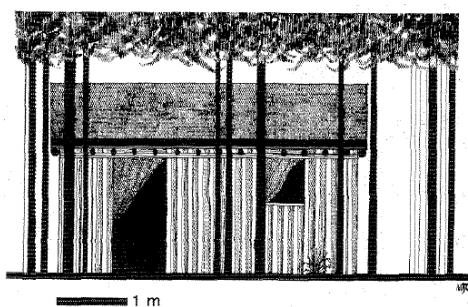


Fig. 71 - Construção "Tilt" com toros verticais em Newfoundland Canada (Clayton, 1990).

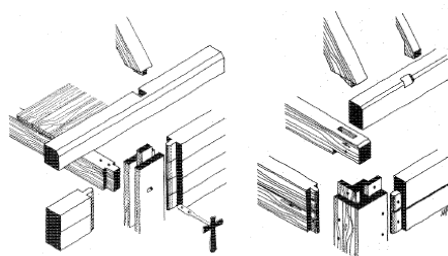


Fig. 72 - Pormenores do sistema "Poteaux en coulisse" de uma casa no Québec, Canadá (Clayton, 1990).

nem patentes que o atestem, havendo no entanto pistas que confirmam o "*balloon-frame*" como o resultado de um processo lento de evolução justificado pelas possibilidades tecnológicas e pelas condições do contexto (Turan, 2009). Clayton (1990, p. 115) considera mesmo que é incorrecto atribuir a solução a um só "inventor", porque mais provavelmente o "*balloon-frame*" será o resultado de um processo de evolução (cf. figura 66) cuja origem se pode reportar à casa Inglesa medieval.

O "*balloon-frame*" é um sistema caracterizado por integrar elementos de reduzida secção, ligados através de pregos, sendo constituído por três unidades semi-independentes: os planos de paredes, os pavimentos e a cobertura. As paredes são formadas por prumos e travessas, de dimensões e secções normalizadas, normalmente de 4"x2". A rigidez era conferida pelo conjunto e pelo revestimento, mais do que pelo tipo de ligações como acontecia nos sistemas estruturais com ligações de encaixe. A distância entre eixos dos componentes verticais variava originalmente entre os 30cm e os 40cm. As características que surgem associadas ao "*balloon-frame*" são a economia, a redundância estrutural, a versatilidade estilística, a adaptabilidade a formas irregulares e a facilidade de construção não exigindo trabalhadores especializados e possibilitando a autoconstrução. O novo sistema mostrou-se muito adequado à dinâmica dos processos de desenvolvimento que caracterizavam a América do Norte do século XIX: novas cidades, novas fronteiras, e corridas ao ouro. Por exemplo, São Francisco como grande cidade foi o resultado conjugado de uma corrida ao ouro, da disponibilidade de uma boa madeira (*Red Wood* - Sequóia), de serrações mecânicas e de um sistema construtivo optimizado: o *balloon-frame* (Pryce, 2005, pp. 199,200).

Um tipo de casa de madeira que teve muito sucesso no início do século XX, principalmente no Oeste dos Estados Unidos da América foi o "*bungalow*"³², que é um tipo de habitação relacionado com a colonização imperial britânica na Índia, construído para fazer face ao clima quente e húmido. Consiste numa construção rectangular com um piso elevado do solo para promover a ventilação e impedir o acesso de roedores, répteis e insectos. Esta elevação protegia também a construção da humidade durante as chuvas da monção. Por vezes era também aproveitado o espaço sob a cobertura para aumentar o espaço habitável com um compartimento adicional. A planta era aberta e modesta. A cobertura tinha duas águas, vigotas à vista e beirados projectados para o exterior, definindo um varandim principal (que por vezes se estendia lateralmente e para trás). Assenta por vezes sobre um plinto de pedra e os materiais são a madeira e o tijolo para a lareira. O clima do Reino Unido, não era receptivo ao "*bungalow*" (optando-se aí pela "*English cottage*"), mas na América, esta era uma solução que respondia à necessidade de uma habitação mais formal do que os abrigos funcionalistas

³² O nome "Bungalow" deriva de "Bangla", o nome de uma casa vernacular indiana.

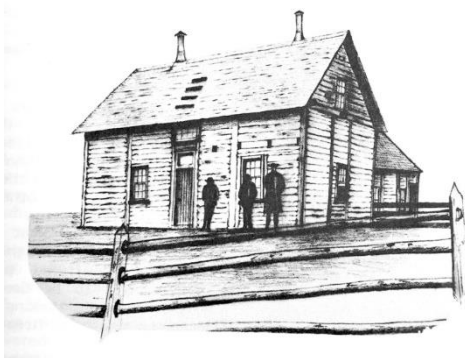


Fig. 73 - Red River Frame em Red River (Butterfield, 1888).

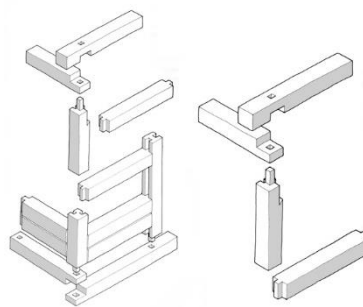


Fig. 74 - Red River Frame. Esquemas de junção no canto (Butterfield, 1888).

que predominavam. Em Los Angeles o “*bungalow*” foi um dos primeiros exemplos da casa de catálogo, distribuída como um *kit* de partes com elementos pré-fabricados oferecendo uma solução de base normalizada e económica que poderia ser personalizada. Os irmãos Greene estiveram envolvidos no sucesso do modelo do bungalow na Califórnia (Steele, 2009b, pp. 33, 34) através da sua manipulação criativa e da mestria no uso da madeira.

O movimento Arts and Crafts na América do Norte terá como expoentes máximos os irmãos Charles e Henry Greene. Ambos admiravam também a arquitectura japonesa que tinha começado a ser conhecida na segunda metade do século XIX. A sensibilidade para com a natureza, o uso dos materiais e a arquitectura encarada como ofício eram princípios coincidentes com o movimento Arts and Crafts Inglês. Para os irmãos Greene, os princípios relacionados com esta ideologia arquitectónica e o clima temperado da Califórnia criaram as condições para desenvolver a sua estética. Encontraram no “*bungalow*” o tipo arquitectónico ideal para veicular as suas ideias, já que este se adaptava formalmente ao clima semitropical da Califórnia, favorecendo a ventilação natural e impedindo a acumulação de humidade. As adaptações que fizeram consistiram em aumentar as dimensões típicas e principalmente em dotarem a construção com um nível muito elevado de carpintarias e de soluções arquitectónicas. Na carpintaria das suas construções estavam envolvidos os irmãos Suecos Peter e John Hall. O preço destas soluções inovadoras, ao contrário do *bungalow* original, passava a ser acessível apenas a um segmento privilegiado de pessoas. A Gamble house em Pasadena de 1908 é o exemplo mais conhecido desta abordagem, com uma obra de carpintaria exemplar, com ligações exclusivamente realizadas com encaixes e cavilhas, semelhante às da arquitectura japonesa (Steane, 2004). Esta casa é a expressão de um conceito de design total e de uma abordagem artesanal, procurando-se o impacto visual, mais do que a economia do material. As secções de madeira surgem sobredimensionadas e os diversos elementos estruturais da cobertura (vigas e asnas) são deixados à vista, obtendo-se assim uma expressão estrutural muito clara. (Pryce, 2005, p. 207).

I.C.2 CANADÁ

O Canadá tem uma História da Arquitectura da época colonial com muitas semelhanças com a dos Estados Unidos da América embora as diferenças sejam notáveis especialmente devido à importância da cultura Francesa. A sua colonização por povos europeus deu-se depois de algumas primeiras tentativas de curto termo primeiro pelos Vikings por volta do ano 1000, e depois com várias abordagens exploratórias até ao século XVII incluindo a de João Fernandes Lavrador e Pêro de Barcelos em 1499, e as dos baleeiros Bascos. Em contraponto às colónias britânicas de James Town e de Massachusetts, os Franceses dão origem à colonização da Nova Scotia (pelos Acadianos) e do Quebec. O domínio da França terminou com a captura Britânica do Quebec em 1759, no entanto a sua cultura

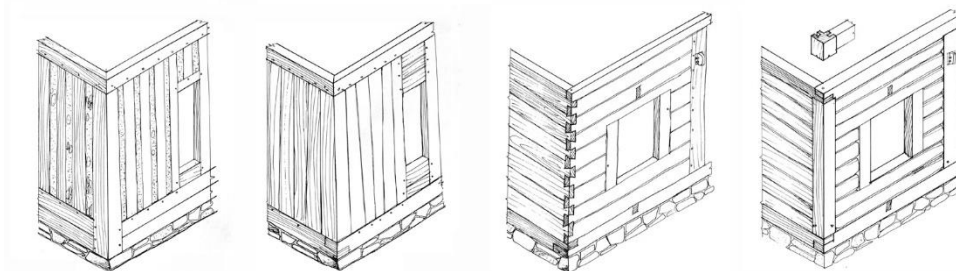


Fig. 75 - Sistemas de paredes no Quebec: *Colombage pierroté*, *Colombage ou pieux sur sole*, *Pièce sur pièce à queue d'aronde* e *Pièce sur pièce à tenon en coulisse* (Lessard & Vilandré, 1974).

permaneceu de tal modo que as técnicas construtivas continuaram a seguir em parte a linha Francesa. Com a fundação dos Estados Unidos da América, os Lealistas migraram para os territórios Canadenses (Ontário, Quebec, Brunswick, Nova Scotia e Prince Edward Island) (Clayton, 1990), transportando naturalmente conhecimentos, técnicas e hábitos adquiridos nos territórios de proveniência a Sul.

O material de construção dominante no Quebec do século XVII terá sido a madeira provavelmente em combinação com a pedra e com a argila, sendo certo que a maioria das casas rurais eram construídas com madeira integral ou em combinação com alvenarias de preenchimento (Kalman, 1995, p. 40). Só no século XIX o tijolo começa a ser utilizado extensivamente em meios urbanos (Lessard & Vilandré, 1974). As tipologias espaciais (planta e volumetria) eram segundo Kalman (1995, p. 40) partilhadas entre as casas de madeira e de alvenaria de pedra, não havendo por isso uma influência do tipo estrutural no tipo espacial. As estruturas dominantes inicialmente eram os reticulados pesados do tipo *Colombage* com ligações de encaixe, importados de França, com soluções variadas, contemplando tanto os espaçamentos amplos entre pilares (2,40m) como os muito próximos. As várias técnicas da *Colombage* consistiam na *Colombage Pierroté*, *briquetté* ou *bousillé* em função do material utilizado para o preenchimento dos vazios estruturais entre elementos de madeira (Kalman, 1995).

Embora a construção com estruturas de componentes de madeira serrados, provavelmente vindas pré-cortados de França, estivesse presente desde o início (princípio do século XVII), na Acádia (Kalman, 1995) eventualmente associados à técnica da *colombage bousillé* (reticulados pesados de espaçamento reduzido), a construção em toros horizontais viria a ter uma importância muito grande no Canadá, sobretudo depois das migrações dos Lealistas vindos dos Estados Unidos em 1789. Na região de Montreal entre 1660 e 1726 mais de três quartos das casas eram construídas recorrendo à técnica das paredes pesadas de toros (Kalman, 1995, p. 51), com uma dimensão básica corrente de 4,80m por 3,40m (Clayton, 1990). Já foi referido que a construção em toros redondos terá sido levada para a América pelos colonos Suecos e Finlandeses que chegaram em 1638 à Nova Suécia no Rio Delaware (liderados pelo Holandês Peter Minuit) (Clayton, 1990), no entanto segundo Kalman (1995, p. 51) é possível que no caso do Canadá, os Franceses tenham levado a cabo um desenvolvido independente.

Os Ingleses por seu lado, apesar de não terem a tradição das paredes pesadas de toros, conheciam-na e utilizavam-na especialmente nas guarnições militares da América. A forma mais elementar de construção de paredes pesadas consiste nos toros verticais cravados no solo (cf. figura 71), solução que no Canadá marcou a sua presença sobretudo em Newfoundland e em alguns postos de comercialização de peles (Clayton, 1990, p. 65). Em 1730 os pescadores e carpinteiros de Newfoundland chegaram a Louisburg para reforçar a

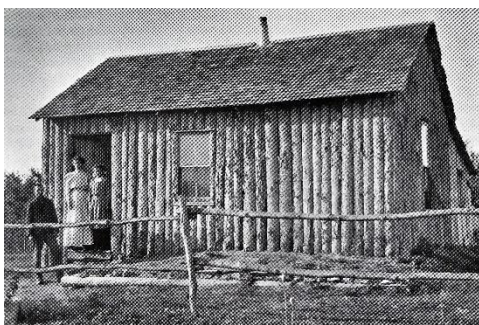


Fig. 76 - Roland house, Alberta, 1903 (Kalman, 1994).



Fig. 77 - Summers house, Alberta, 1902 (Kalman, 1994).

presença Francesa na Île Royale (Nova Scotia), começaram a construir as suas casas precisamente com o sistema de toros verticais (sistema “*tilt*” em inglês e *piquets de bout, pieux en terre*, ou *en pieux* em francês) designadas pelos Foundlanders como *piquets* (Kalman, 1995, p. 34) (Clayton, 1990, p. 65). O sistema “*tilt*” terá evoluído posteriormente para uma construção de pranchas verticais cravadas no solo e revestidas com *shingles* que terá convivido com o sistema de *reticulados pesados colombage*.

Na Nova França, o sistema construtivo de reticulados pesados tipo “*colombage pierroté*” conhecido desde 1608 estabeleceu-se a partir dos modelos do Noroeste de França, com base na Normandia. Os montantes eram dispostos em distâncias muito próximas (de 50cm a 100cm), sendo os painéis entre elementos de madeira preenchidos principalmente com alvenaria de pedra. Surgiram variantes deste sistema em função da introdução de materiais de preenchimento alternativos: na *colombage briquetée* usava-se o tijolo e na *colombage bousillé* a argila³³. Devido às condicionantes do clima este sistema acabou por ser substituído por outros. (Clayton, 1990, pp. 72-74). Uma alternativa seria o sistema de porticados pesados de raiz Inglesa. Proveniente de Inglaterra e desenvolvido na Nova Inglaterra, foi difundido no Canadá pelos lealistas a partir da Revolução Americana de 1776, diferenciando-se dos modelos Canadianos principalmente pelo revestimento que era realizado pelo exterior em perfis de madeira. As soluções de reticulados pesados (*heavy frame construction*) evoluíram para as soluções de reticulados médios (*medium frame construction*), a partir do século XVIII, num processo que correspondia a uma redução dos elementos de construção utilizados como montantes dispostos a curta distância (Clayton, 1990, p. 87), renunciando já o que viria a ser o *balloon-frame*. Clayton considera que o sistema descrito como *braced-frame* e situado cronologicamente por alguns autores como posterior ao *balloon-frame*, é de facto aquilo a que chama o *médium-frame*, em que os postes de canto são de maior dimensão, integrando elementos de travamento diagonais nos cantos e com montantes de apenas um piso (Clayton, 1990, p. 118).

O sistema de paredes pesadas de toros “*poteaux en coulisse*”, utilizado pelos Canadianos-Franceses desde metade do século XVII é um conjunto estrutural de postes e vigas em que toros horizontais (secção quadrada com cerca de 15cm a 25cm) são colocados entre os vazios dos pilares através de encaixes do tipo macho-fêmea (cf. figuras 72, 73 e 74) . Os postes encaixam em vigas de soleira que em princípio assentavam numa fundação de pedra. Os espaços entre postes variam entre 1,80m e 3,00m, sendo 2,40m a medida mais frequente (Clayton, 1990, pp. 76, 77). Este sistema cujo modelo europeu corresponderá ao das paredes leves de postes e pranchas da Dinamarca e da Suécia ou aos sistemas de paredes

³³ Uma outra variante, adoptado pelos Acadianos, é o “*post and rail construction*”, que consistia em reforçar os vazios entre os postes com ripas encaixadas nos postes e preenchidas depois com argila, sendo depois revestidos com perfis ou *shingles* (Clayton, 1990, p. 100).

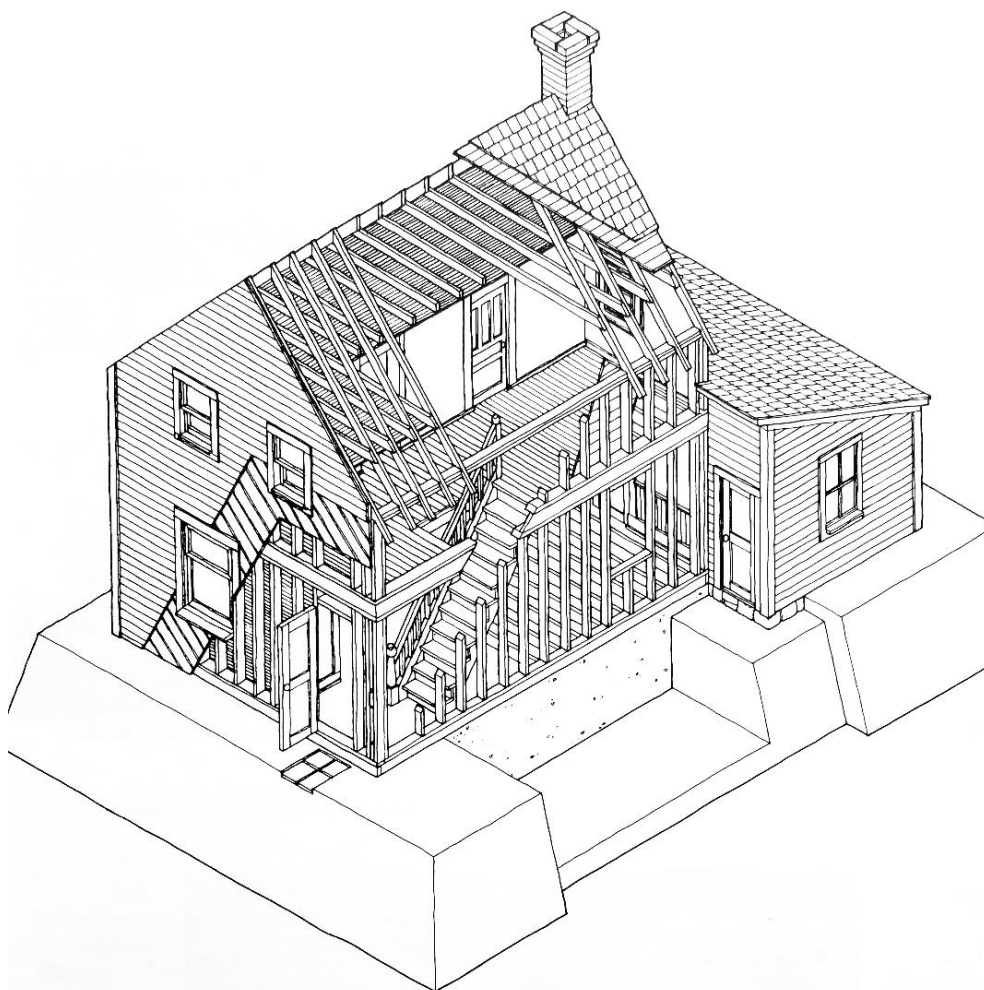


Fig. 78 - Casa MacArthur perto de Little Britain, Manitoba com reticulados leves (1910) (Butterfield, 1988).

encontrado em Biskupim, foi amplamente utilizado no Canadá evoluindo para um sistema similar, o *"post and groove construction"* (também chamado *Hudson's Bay frame*, *Manitoba frame*, *Red river frame* ou *Canadian frame*) com elementos de madeira de maior secção (cf. figuras 73 e 74). O sistema, provavelmente pela sua vocação defensiva surge associado frequentemente aos postos comerciais e militares das planícies centrais de comércio de peles (Clayton, 1990, p. 90). Este sistema passará a fazer parte da identidade do Canadá em termos da sua História da construção:

"It was natural that the undeniably Canadian house of the early nineteenth century with its low bell cast roof was constructed en pièces-sur-pièces and in stone." (Moogk, 1977)

A partir do sistema *"poteaux en coulisse"* terá sido criado também o sistema *"madrier construction"* que acaba por ser uma estrutura mista com pranchas que são depois revestidas com alvenaria (Clayton, 1990, p. 98). As suas vantagens seriam principalmente o comportamento acústico e o isolamento térmico adicional em relação às soluções simples de alvenaria. Tendo surgido depois de meados do século XIX, foi abandonado depois por se revelar pouco económico.

No Quebecue depois da conquista, assistiu-se à evolução do tipo de casa rural simples para um tipo mais elaborado de maior dimensão - a *"maison canadienne"* - com o piso elevado do solo com galerias nas fachadas maiores (como dispositivo para protecção do contra a neve), com duas chaminés (uma em cada empena), e cobertura de duas águas, frequentemente com uma terminação encurvada. Os dispositivos adicionais de protecção climática incluiriam o

isolamento do pavimento, o aquecimento central, a instalação de janelas e portas duplas e as portadas. Este tipo surge em pedra (muitas vezes revestida com madeira) e ocasionalmente recorre ao tijolo, tendo sido igualmente construído em madeira (Kalman, 1995, pp. 51-53). A diferença entre a construção em pedra e a construção em madeira era parcialmente uma questão de estatuto. Mogk refere que a construção de pedra comparada com a de madeira era mais cara e mais complexa uma vez que requeria a intervenção de mais ofícios e exigia mais tempo para ser construída. No século XVIII a clientela das casas de pedra estaria principalmente instalada nas cidades, composta por comerciantes e oficiais públicos, enquanto no campo seriam raros os agricultores com posses para casas de pedra (Moogk, 1977). O abandono progressivo da madeira das cidades irá depois dever-se muito aos regulamentos anti-incêndio, embora a tradição da habitação unifamiliar em madeira se mantenha como uma solução corrente.

Depois da fase de colonização Francesa e Inglesa, a segunda vaga de colonização do Oeste Canadiano correspondeu à chegada de muitos colonos provenientes de diversas partes do mundo, num processo incentivado pelo Estado recentemente criado (1867). Assim, cada grupo cultural que se instalava nos novos territórios construía numa primeira fase com base nas tradições dos países de origem. Mas nas zonas em que a madeira era abundante a casa inicial era muito frequentemente construída com troncos (cf. figuras 76 e 77), com os cantos ligados em cauda de andorinha ou em sela, à maneira do Ontário, utilizando-se com frequência a trufa, abundante na pradaria, ou o colmo em vez das shingles de madeira, para as coberturas (Kalman, 1994). O “Architectural Heritage Report” da zona Morden Stanley Thompson Winkler no sul em Manitoba descreve os três estágios de desenvolvimento da construção residencial: Inicialmente antes de 1880 construía-se uma casa de toros, depois, passados um ou dois anos construía-se uma casa de reticulados leves ou de porticados com um piso e sótão e mais tarde construía-se uma casa de maior dimensão. As casas de toros no entanto continuaram a ser habitadas em permanência pelos colonos menos afortunados e as casas do segundo estágio eram as que predominavam durante os primeiros 50 anos depois da instalação inicial (Butterfield, 1984, p. 21).

No Canadá as casas de madeira continuaram, ao longo do século XIX, a ser construídas com múltiplos sistemas, variando entre o porticado e os reticulados pesados, mas a evolução foi marcada por uma tendência geral para o aligeiramento de todos os componentes (cf. figura 78). A História da construção de madeira neste país, terá seguido, em termos de inovações, uma sucessão paralela à dos estados Unidos: *Heavy frame* (reticulados pesados), *Medium-frame* (ou *braced-frame*) e *Light frame* (*balloon-frame*). O “*balloon-frame*” terá entrado no Canadá por via das rotas de São Francisco para Victoria (British Columbia) nas corridas ao ouro de meados do século XIX e depois por via da rota de Winnipeg e Chicago para as regiões do Ontário e do Québec. Sobre o *balloon-frame*, diz Clayton que:

“The great advantage of the new system was its strength, the light weight, and the simplicity of building. A small house once built, could be taken down again if needed and loaded onto a wagon to rejoin the ever westward trek of settlers. In this way balloon-frame construction spread like wildfire (...).” (Clayton, 1990)

I.D Extremo Oriente

O extremo oriente inclui o Leste da Ásia (China, Coreia, Japão), e o sudeste asiático (Indochina e ilhas do Sudeste). A arquitectura desta vasta região caracteriza-se por algumas singularidades que a distinguem do mundo Ocidental, destacando-se em primeiro lugar o domínio dos sistemas porticados nas tipologias de habitação e a menor recorrência a elementos de travamento cruzados. Em segundo lugar, apesar do conhecimento das asnas, as estruturas de cobertura em geral utilizam sistemas de vigas a diferentes alturas com

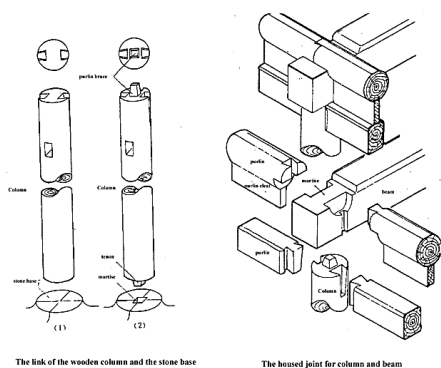


Fig. 79 - Ligações entre elementos na construção Chinesa (Zhang, 2000).

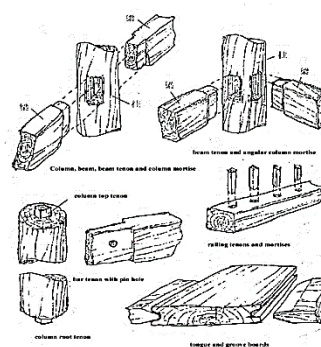


Fig. 80 - Ligações de estruturas de madeira nas ruínas Neolíticas de Hemudu na China (Zhang, 2000).

cachorros que estabelecem a ligação destas aos pilares. Por um lado, a Coreia, a China e o Japão funcionaram como regiões de mútua influência, tendo principalmente o Japão sido fortemente influenciado pelos dois países vizinhos³⁴. (Pryce, 2005, p. 27). Por outro lado no sudeste asiático, embora se verifiquem também as mútuas influências regionais, destaca-se a relação especial que sempre foi estabelecida com a China.

I.D.1 CHINA

Os vestígios de construções em madeira para habitação, nas zonas de origem da cultura Chinesa (rios Amarelo e Yangtze), remontam ao Neolítico, tendo sido descobertas casas de madeira com cerca de 7.000 ou 6.000 anos (ruínas de Hemudu, na província de Zhejiang). Os elementos básicos dessas construções são o pilar, a viga e as pranchas e os encaixes do tipo mecha e respiga. Trata-se de mechas nas colunas e respigas nas vigas e encaixes macho-fêmea nas pranchas (cf. figuras 79 e 80). Estes achados confirmam que o padrão da cultura construtiva em madeira foi baseado essencialmente nos porticados. As razões para o uso continuado da madeira na China³⁵ devem-se à disponibilidade de recursos, à flexibilidade proporcionada pelo material, à adaptabilidade ao clima, à facilidade de transporte e à facilidade de processamento (Zhang, 2000). Textos antigos prescrevem que o abate das árvores deveria ser feito em Novembro e proibidos no primeiro mês da Primavera. Uma prescrição de resto comum noutras tradições como forma de evitar a possibilidade de ataque biológico, e aproveitar a estação mais fria e favorável para evitar o desenvolvimento de insectos e fungos. Adicionalmente as baixas temperaturas e o gelo ajudariam a consolidar os percursos para transporte da madeira abatida. Importante era também o facto de que o Inverno não coincidia com o tempo das plantações, havendo assim maior disponibilidade de mão-de-obra (Fu, Chapman, & Vale, 2002).

Os abrigos neolíticos em porticados de estacas cravadas no solo surgiam elevados no solo, criando uma tradição de estruturas que na dinastia Zhou assumiu uma componente simbólica: a altura do pavimento relacionava-se com o estatuto do ocupante. A elevação numa plataforma surge também em vários tipos de residências Chinesas, onde a hierarquia dos elementos da família também pode surgir diferenciada pelas cotas das plataformas dos vários espaços. Os emigrantes chineses que se espalharam pelos territórios vizinhos levaram consigo este modelo que ao promover a ventilação natural e ao combater a acumulação de humidade se adaptavam às condições climáticas comuns do sudeste asiático (Knapp R. , 2005).

³⁴ Actualmente é o património Japonês conservado que permite conhecer muita da cultura construtiva perdida nos dois países de origem.

³⁵ Durante o período Ming (907-946) o número de carpinteiros que residiam ou trabalhavam na capital era próximo dos 40.000 e o número de carpinteiros responsáveis apenas pela serragem da madeira era próximo de 10.000 (Fu, Chapman, & Vale, 2002).

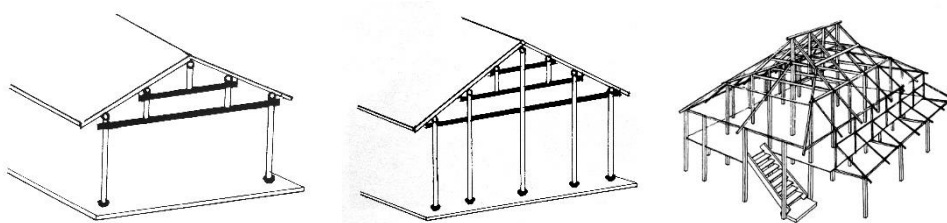


Fig. 81 - Sistemas: Tailiang, Chuandou e Ganlan (Knapp R. , 2000).

A espécie de madeira mais comum utilizada na construção eram o Cedro Branco devido às suas excelentes características de resistência à tracção e compressão. Cada espécie de madeira teria uma utilização específica, sendo por exemplo o Carvalho e a Canfora escolhidos para os cachorros. O Cedro era utilizado em vários elementos da cobertura como nas varas (*rafters*) curvas da cobertura, nas vigas inferiores a estas e ainda nas pranchas de forro. Utilizava-se depois a madeira do tipo *Nan* (espécies folhosas, entre as quais a *Phoebe nanmu*) para as varas, os pilares e os membros dos vãos. (Fu, Chapman, & Vale, 2002). A experiência continuada permitiu consolidar competências e conhecimentos sobre o comportamento do material em relação aos desastres naturais frequentes na região. Também a estética, a filosofia e os aspectos religiosos que se criaram em redor da madeira e (Zhang, 2000) ajudaram a consolidar o seu uso continuado. O Confucionismo da dinastia Han (221 AC-220 DC) contemplava a crença da unidade entre o Homem e da natureza, e incluía os princípios do *yin-yang* e dos cinco elementos (metal, madeira, água, fogo e terra) que correspondiam às cinco direcções (quatro pontos cardeais e um central). A madeira seria considerada o símbolo da Primavera e da vitalidade, pelo que esta e a terra, o elemento central, seriam os materiais escolhidos para suportar a vida do Homem (Pryce, 2005).

Durante a dinastia Ming, produziram-se regulamentos que ditaram a dimensão a utilizar nas estruturas de madeira por cada classe social. Estabeleceu-se assim um processo de normalização que tinha por base um módulo que era o *jian* e que correspondia à dimensão entre duas colunas, mas também representava o espaço bidimensional entre 4 colunas. Normalmente as estruturas porticadas puras estavam reservadas para as classes poderosas, sendo as paredes portantes utilizadas para as habitações comuns. A terra com uma armação de madeira era assim utilizada de tal modo que quanto maior fosse a quantidade de madeira na construção, maior estatuto teria o habitante. Utilizavam-se principalmente dois tipos de porticados, o de pilares de curto vão e vigas ligeiras e os porticados de maior vão e componentes de maiores secções, mais corrente no norte (Knapp R. , 2005). Muitas habitações Chinesas compreendem pelo menos três módulos *jian*, sendo a largura de cada *jian* no Norte entre 3,30m e 3,60m e no Sul entre 3,60m e 3,90m. A profundidade no norte raramente excedia os 4,80m, chegando no sul aos 6,60m. À medida que uma família se tornasse mais próspera poderiam ser adicionados módulos que resultavam muitas vezes na organização em pátio, muito comum na China. Vários regulamentos foram sendo produzidos com o objectivo de manter um equilíbrio entre estatuto e habitação. Assim por exemplo nas dinastias Ming e King os regulamentos limitavam as dimensões das habitações das pessoas comuns a três *jian* de largura e 5 *jia* de profundidade. Outras normas estabeleciam também as secções dos componentes de madeira e as correspondentes proporções para determinar a altura da construção (Knapp R. , 2000).

A arquitectura residencial vernácula chinesa apresentará três sistemas básicos, o *Tailiang*, o *Chuandou* e o *Ganlan* (cf. figura 81). O primeiro, *tailiang* ou “pilares e vigas”, proveniente do Norte da China, é um porticado semelhante aos ocidentais, sem escoras, formado por uma unidade de base com dois pilares e uma viga sobre a qual são montados mais dois postes,

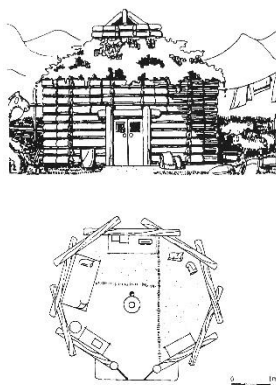


Fig. 82 - Abrigo de toros nas montanhas Altai (Knapp R. , 2000).

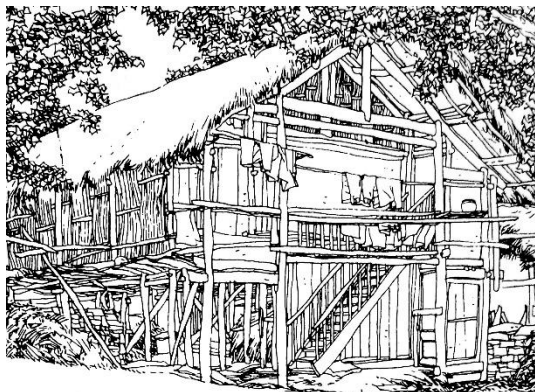


Fig. 83 - Habitação do tipo Ganlan (Knapp R. , 2000).

em cima dos quais é colocada outra viga, numa sucessão que se pode repetir algumas vezes até à cumeeira. Por vezes é colocado um pilar central no qual apoia a viga de cumeeira. A estrutura da cobertura é assim formada sem recorrer a asnas, obtendo-se planos intencionalmente encurvados. As coberturas *tailiang* surgem frequentemente muito sobredimensionadas porque os construtores Chineses consideravam que a robustez de uma estrutura dependia do peso da cobertura.

O segundo sistema, o *chuandou*, ou “pilares e vigas transversais”, surge no Sul da China, compreendendo um número elevado de pilares que suportam directamente as vigas da cobertura (paralelas à cumeeira), descarregando os esforços da cobertura directamente através dos pilares para as fundações. O sistema permite assim obter uma maior curvatura da superfície da cobertura. As vigas horizontais são elementos cuja função é escorar a estrutura. Os pilares como são em maior número têm menor secção que no sistema *tailiang*, apresentando normalmente secções com lados entre 20cm e 30cm. Este sistema segundo Knapp (2000) poderá ter resultado de uma escassez de recursos uma vez que apenas necessita de árvores com cerca de cinco anos para fornecer todos os componentes, enquanto no sistema *tailiang* as árvores teriam de ser pelo menos uma geração mais antigas. Tanto no sistema *tailiang* como no *chuandou*, ao contrário do hábito da viga de soleira comum no Japão, os pilares assentam em pedestais de pedra que evitam a ascensão de humidade e dificultam a subida das térmitas. Knapp refere que este sistema se comporta melhor perante o sismo do que as estruturas com uma viga de soleira. As paredes nestes dois sistemas não são estruturais e podem ser preenchidas com terra, adobe, tijolo, toros, pranchas, bambu ou argamassa estruturada (Knapp R. , 2005).

Finalmente, o terceiro sistema, o *ganlan* consiste num sistema de estacas que surge associado à habitação de várias minorias étnicas no Sudoeste e Sudeste da China (Knapp R. , 2005). As casas *ganlan* (cf. figura 83) surgem na região autónoma de Guangxi Zhuang, uma zona montanhosa, com um clima húmido, quente e chuvoso, contando ainda com a presença de répteis venenosos e animais selvagens perigosos. As casas têm dois pisos, sendo o piso inferior reservado a armazenagem ou abrigo de animais e o superior destinado a habitação. A estrutura é porticada, podendo os vãos variar entre os 3,00m e os 5,00m, com madeira de Abeto chinês. As ligações são de encaixe e as paredes são revestidas com pranchas de madeira. O sistema forma um todo rígido de tal forma que segundo Dequi (2004):

“(…) even if a column was destroyed or the stone-block under a column was moved away the monolithic wood house won't move an inch.” (Deqi, 2004)

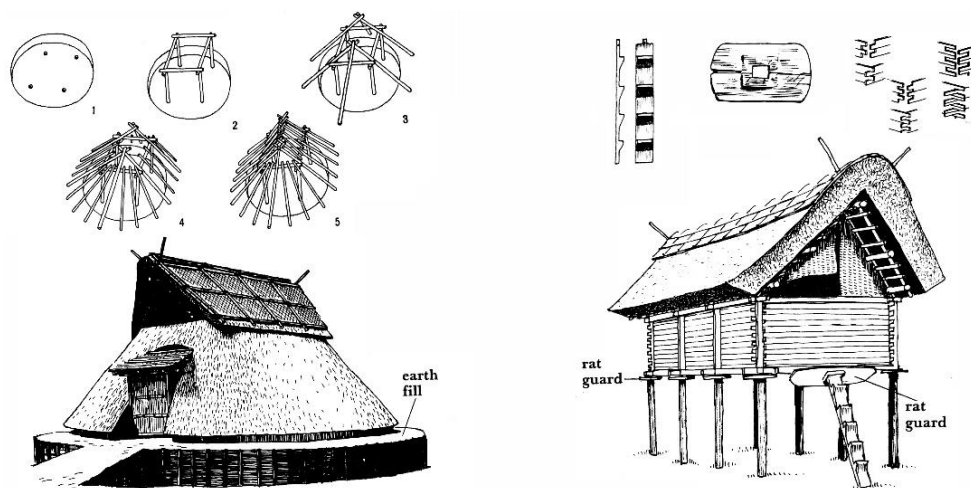


Fig. 84 - Abrigo escavado Yayoi com esquema conjectural e Espigueiro elevado Yayoi com detalhes (Hozumi, 1985).

Nos terrenos de encosta este tipo de estrutura permite o reajustamento das fundações sem afectar a superestrutura. Estas casas são também caracterizadas pelos pilares suspensos e pelos beirados projectados que fazem parte do sistema de pisos em consolas sucessivas. O centro da casa no piso superior tem o lugar do fogo num recesso no pavimento com materiais não combustíveis que para além de uma função prática é considerado um lugar sagrado. O interior destas casas fica impregnado com os efeitos do fumo que os habitantes consideram uma protecção para a madeira (Deqi, 2004).

Em algumas regiões muito florestadas do Sudoeste e do Nordeste da China encontram-se sistemas de construção com paredes pesadas de toros. Os toros são utilizados por minorias étnicas da periferia (cf. figura 82). A sua existência no passado é atestada por modelos de bronze da dinastia Han, mas subsistem ainda hoje nas montanhas Tianshaun, no planalto Tibetano e a sul da Mongólia. Os abrigos são pequenos, e de um espaço único. Os troncos são trabalhados apenas com o machado e as juntas de canto fazem-se com entalhes de sela. Os abrigos com toros mais singulares são os de geometria decagonal que imitam os *Yurts*, construídos com toros curtos e com diâmetros de 10cm a 15cm (Knapp R. , 2000).

I.D.2 JAPÃO

Segundo Gunter Nitschke (2002), a preferência e a quase exclusividade da madeira na construção japonesa deve-se mais a aspectos culturais do que às suas características climáticas. Diz esse autor que os mitos mais antigos do Japão já mostravam a preferência pelo carácter daquilo que é vivo e transitório como acontece com a madeira. É exemplar dessa cultura o mito segundo o qual o primeiro imperador do Japão, o “neto do sol” terá escolhido a “bela princesa das árvores em flor” em vez da sua feia irmã, a “princesa da rocha eterna” (Nitschke, 2002). A preferência pela madeira comporta também uma cultura de manutenção das estruturas construídas que consiste em levar a cabo acções rituais de substituição em períodos de tempo previamente fixados. Por exemplo, na ilha de Ise os 115 santuários criados provavelmente no século XVII são desmantelados e reconstruídos a cada 21 anos (Nitschke, 2002). Apesar dos danos causados pelo fogo, tufões e sismos, a arquitectura japonesa manteve sempre como material principal a madeira. Haverá nos

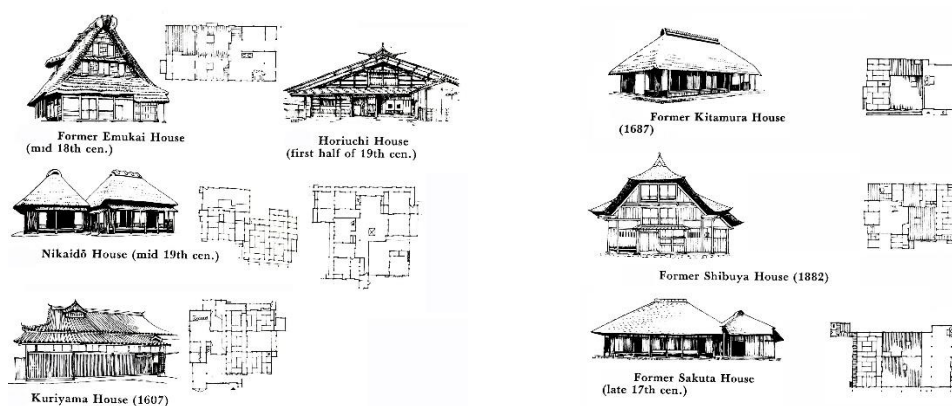


Fig. 85 - Diversidade de Minkas (casas do povo) dos séculos XVII ao século XVII (Hozumi, 1985).

Japoneses um sentimento fatalista³⁶ que se manteve desde a Idade Média e que os leva a entender a natureza da casa como temporária e transitória (Masuda, 1969).

O Japão tem um território e um clima muito diversificados. Constituído por quatro grandes ilhas e muitas outras (mais de mil) de reduzida dimensão, tem uma distribuição de latitudes que se estende entre os 45° e os 25° Norte. As características do clima variam entre o subártico a Norte e o subtropical a Sul, ao que se tem de adicionar muitas *nuances entre o Leste e Oeste*. Os sismos são frequentes, registando-se entre 1.000 e 1.200 anualmente. A topografia é em geral acidentada, representando as planícies e os vales apenas 24% do território (Benedetti & Bacigalupi, 1988, pp. 64-66). Mais de 90% do país foi no passado coberto por florestas e embora tenha sido levada a cabo uma política de protecção da floresta pelo governo Tokugawa (séc. XVII-XIX), a floresta foi reduzida a 80% do território no começo do século XX, sendo esse valor hoje apenas 60%.

As madeiras resinosas tradicionalmente utilizadas na construção Japonesa, antes do estilo Sukyia, incluem vários Pinhos, vários tipos de Ciprestes, os Cedros, a Ciptoméria e a Tsuga. De entre as folhosas recorria-se principalmente ao Carvalho e à Cerejeira. Com o estilo Sukiya integraram-se vários tipos de espécies num mesmo edifício, escolhidas em função das suas características naturais, continuando a utilizar-se as mesmas espécies de resinosas, mas ampliando-se a gama de folhosas. O Cipreste Japonês era a madeira mais utilizada nos elementos estruturais primários, por ser durável, resistente e fácil de transformar, para além de ter um grão fino e direito e um aroma agradável. O Cedro, embora sendo também durável e resistente, por ser um pouco mais macio, era utilizado para portas de correr e para mobiliário embutido. A Zelkova, uma folhosa muito respeitada era escolhida, pela sua resistência e pelas grandes secções que proporcionava, para elementos estruturais especiais e para mobiliário, embora fosse mais difícil de trabalhar. Os Pinhos porque tinham mais nós e tendência para crescer com torções ou arqueados, eram escolhidos para vigas onde as curvaturas eram toleradas ou até desejadas. Também se utilizavam os Pinhos no exterior por ser valorizado o papel protector da sua resina. A Lacquer Japonesa era utilizada para extrair a laca da sua seiva que era usada como um revestimento protector e decorativo (Locher, 2010).

As escolhas da madeira pelos carpinteiros na arquitectura tradicional Japonesa relacionavam-se também com o lugar original onde se desenvolviam as árvores e que de algum modo influenciariam as suas características de resistência. Assim, as árvores que cresciam perto do topo das montanhas, eram consideradas as mais altas e de maior diâmetro, sendo as

³⁶ As inconstâncias do Clima, os Sismos, as inundações e os tufões, com a sua acção destrutiva mostram constantemente aos Japoneses que as obras do ser Humano têm um carácter transitório. Assim terão moldado um pensamento mais passivo que activo e revolucionário (Nitschke, 2002).

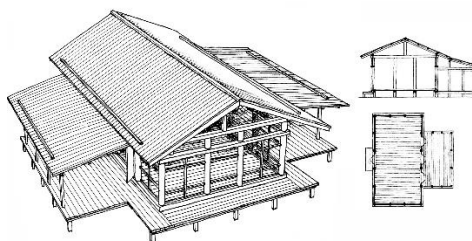


Fig. 86 - Casa Fujiwara-no-Toyonari do período Nara - Pré estilo Shinden (Hozumi, 1985).

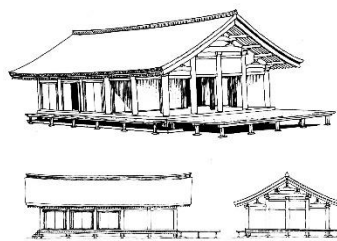


Fig. 87 - Residência Dempodo - Pré estilo Shinden (Hozumi, 1985).

escolhidas para pilares e vigas. As árvores de meia encosta teriam um diâmetro menor, mas a sua madeira era considerada boa, reservando-se para elementos expostos e acabamentos finos. As árvores que se desenvolviam nos vales entre montanhas eram consideradas as mais fracas e não eram escolhidas para fins estruturais. A vertente da montanha também tinha importância pelo que as árvores que cresciam a Norte eram seleccionadas para a fachada Norte e as que cresciam a Sul eram colocadas na fachada Sul. Quanto aos pilares, estes eram sempre colocados segundo o sentido natural da árvore, ou seja a parte da raiz na base e a copa em cima. No caso das vigas, os empalmes eram realizados de modo a que as extremidades correspondentes à raiz não coincidisse com a junta porque acreditavam que haveria uma tendência para descolar a ligação no sentido do crescimento da árvore. Juntando as extremidades correspondentes à copa, as forças em presença contribuiriam para selar a junta. No caso de um empalme de uma coluna com dois componentes, a extremidade da raiz seria sempre a inferior (Locher, 2010).

A arquitectura residencial do Japão baseia-se em duas tradições paralelas, provavelmente uma indígena, a Jomon (remontará ao Neolítico) e outra invasora, a Yayoi (200 AC-250 DC). As casas Jomon, concentradas nas zonas centrais e de Leste do Japão eram circulares, elípticas, ou rectangulares, escavados na terra até à altura dos ombros dos habitantes, eram complementadas com uma estrutura de madeira e cobertas com colmo. Ter-se-á verificado por volta de 300 AC uma transição da tradição Jomon para a Yayoi (cf. figura 84). A habitação passou a ser construída com um porticado com ligações de encaixe, sem elementos diagonais e sem paredes portantes. Os pilares seriam estacas cravadas no solo, as coberturas seriam em colmo com grande inclinação e sobressaíam ao nível da cumeeira as extensões características das vigas de cobertura. A cobertura tinha ainda pesos colocados intervaladamente para contrabalançar as forças de sucção dos tufões (Steele, 2009a).

As duas tradições referidas terão contribuído para uma diferenciação tipológica que perdurou ao longo da História. A Minka rural japonesa, apesar das suas muitas variações, é um abrigo interiorizado e com muita massa sendo provavelmente uma derivação dos abrigos de terra Jomon, mantendo a cobertura inclinada em colmo. A planta é rectangular, no interior tem uma zona central, o lugar do fogo, definida por quatro postes e vigas. Funciona simultaneamente como habitação e como celeiro, estabelecendo-se a diferenciação funcional através de uma elevação no pavimento da zona habitacional. As zonas de dormir distribuíam-se pelos pisos superiores, com acesso por escada. Este tipo construtivo, pelo isolamento térmico da sua envolvente, tem características melhor adaptadas ao Inverno e à neve, do que ao Verão, altura em que se gera no interior um ambiente com excessiva humidade e fumo (Steele, 2009a). Ao contrário das **Minka** (cf. figura 85), as casas Sukiya (versão informal do estilo

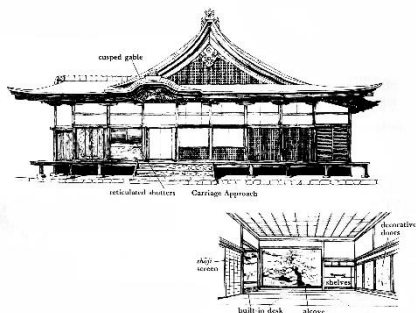


Fig. 88 - Kojin Hall dos convidados, Onjoji 1600 - Estilo Shoin (Hozumi, 1985).

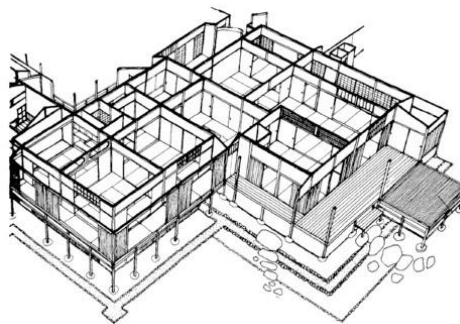


Fig. 89 - Palácio Katsura, Quioto - Estilo Sukiya (Hozumi, 1985).

*Shoin*³⁷), leves, com o pavimento elevado e com as divisórias móveis, serão devedoras dos tipos Yayoi (Steele, 2009b, p. 87).

O termo genérico Minka significa “casas do povo” variando desde as casas pobres dos agricultores até às casas urbanas dos mercadores. As Minka do Norte têm uma cobertura inclinada de colmo para fazer frente aos Invernos com neve, enquanto as pequenas Minka do sul têm pavimentos elevados para maximizar a ventilação e minimizar as consequências das cheias (May, *Handmade houses*, 2010a). Tipologicamente distinguem-se principalmente as urbanas Machiya, das rurais Noka³⁸, encontrando-se ainda as Gyoka das aldeias piscatórias. A Machiya era a Minka que acumulava a função habitacional com a comercial, com espaços dedicados à produção e armazenagem de produtos relacionados com o negócio. Era também a casa urbana típica de Quioto, que foi capital do Japão de 794 a 1868. A estrutura era porticada, sem paredes portantes e com uma cobertura de colmo. A madeira utilizada consistia em elementos de madeira deformados, uma vez que apenas os membros das classes sociais mais elevadas poderiam utilizar as melhores peças (esta disposição era determinado por decreto). Para além da madeira utilizavam-se outros materiais de construção como a pedra, a argila, o bambu e o papel. Para a fundação da casa utilizava-se um bloco de pedra onde apoiava a base de cada coluna, não havendo uma ligação fixa entre estes dois elementos. As paredes exteriores podia ser realizadas com pranchas rematadas com mata-juntas. Cada prancha era levemente queimada, com a intenção de melhorar a sua estanquidade. A face interior das paredes exteriores era coberta com uma argamassa de areia, palha e argila. Geometricamente o espaço eram longo e estreito, com uma área central destinada à família e com as zonas de quartos no piso superior. Adjacente à rua estava situado o espaço da loja (Steele, 2009b, p. 80).

Em oposição à Minka, o tipo de casa leve que se associa normalmente à arquitectura tradicional do Japão, teria começado já a ser paralelamente desenvolvido na idade do bronze através de estruturas mais ligeiras e elevadas do solo (Steele, 2009a). No período Nara, as residências do povo eram ainda primitivas (abrigos escavados com cobertura de madeira, mas a classe governante residia em habitações onde a leveza da arquitectura porticada se revelava no exterior e onde a cobertura com beirados em consola cumpria o papel de protecção, ampliando o espaço interior (Hozumi, 1985, pp. 60, 61). Estas residências aristocráticas porticadas (cf. imagens 86 e 87) antecipavam já o estilo **Shinden** (expressão que designa hall para dormir, ou seja a estrutura central do complexo residencial). Este estilo caracteriza-se pelo desenvolvimento de estruturas no interior de um lote demarcado por uma

³⁷ Podem ser consideradas três tradições principais na arquitectura residencial japonesa: A Minka vocacionada para o povo e os estilos *Shinden* e *Shoin* (do qual resultou o *Sukiyia*) para a aristocracia e as classes mais poderosas.

³⁸ A construção da Noka consiste numa estrutura porticada de madeira com paredes exteriores de bambu e argila. A compartimentação interior é realizada com paredes móveis de madeira e papel ou portas grelhadas.

cerca de terra, formalizando vários pátios e com construções porticados de cobertura projectada, com interiores compartimentados por divisórias leves, desdobráveis e portas de correr. As residências do povo, pelo que se pode conhecer de ilustrações da época, eram porticados muito básicos unifamiliares ou plurifamiliares com paredes faixas entrelaçadas de bambu ou madeira, sendo as coberturas efectuadas com pranchas de madeira.

A era Muromachi durou de 1338 a 1573 e foi neste período que a cultura japonesa, que é considerada a mais típica, foi estabelecida (incluindo por exemplo a cerimónia do chá), conjuntamente com o estilo **Shoin** de arquitectura residencial (cf. figura 88) desenvolvido a partir do anterior Shinden (Hozumi, 1985, p. 74). Esse estilo tem várias características identificadoras como o pavimento modulado por tatamis, os pilares de secção quadrada chanfrados, as divisórias leves e de correr com papel e as grelhas de madeira nas paredes exteriores que podiam ser protegidas com painéis pesados de pranchas pesadas (Hozumi, 1985, p. 74).

Na era Muromachi, começaram também a escrever-se tratados com as normas das proporções que a arquitectura deveria seguir (um meio para atingir a harmonia), sendo transmitidos de geração em geração entre famílias de carpinteiros, como textos secretos. Posteriormente, no século XVIII, começaram a ser impressos e deixaram de ter esse carácter. O tratado Shomei, por exemplo, no âmbito do sistema *kiwari-jutsu*, estipulava que o módulo estabelecido no eixo dos pilares ditava as restantes dimensões. Se “L” era a dimensão entre pilares, o pilar deveria ter uma secção de “L”/10. A organização modular do espaço (*kiwari-jutsu* significa sistema de dividir a madeira), não era no entanto universal. Havia 5 tipos de construção: portais, santuários Shinto, mosteiros Budistas, pagodes e casas. A arquitectura doméstica estabelecia uma relação entre a dimensão intercolunar, os elementos de madeira pré-fabricados e o sistema de tatamis. O *Ken* ou espaçamento entre colunas depois de algumas variações, normalizou-se com a estabilização das dimensões do tatami, que se fixou nos 190cmx95,4cm nas cidades e 181cmx90,9cm nas zonas rurais (Nitschke, 2002), ou seja 6,5 *shaku* em Quioto e 6 *shaku* em Tóquio, recorrendo-se a uma unidade modular (30,48cm) importada da China (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008).

Na era **Sukiya**³⁹ (XVI-XIX), desenvolve-se a nova arquitectura que influenciará o movimento moderno (cf. figuras 89 e 91), chamada *sukiya-zukuri*, significando “estilo elegante de construir”, com uma planta livre, maior leveza, maior relação com o exterior (interpenetração espacial com o jardim) e maior potencial de personalização (Nitschke, 2002). O estilo Sukiya (expressão derivada de *Suki*, com significado de “refinamento”) teria sido criado com base nas ideias da cerimónia do chá, envolvida em conceitos de disciplina mental, controlo físico e sensibilidade estética. Os pilares passam a ser mais rústicos e elimina-se muita da decoração do estilo anterior, quando não a totalidade. O exemplo considerado mais representativo desta abordagem é o palácio Katsura em Quioto (cf. figura 89) (Hozumi, 1985, pp. 78-81).

³⁹ Os desenvolvimentos da arquitectura japonesa dividem-se em três estágios: o estilo *Shinden* (séc VIII-XII), o *Shoin* (XII-XVI) e o *Sukiya* (XVI-XIX) (Nitschke, 2002).



Fig. 90 - Estrutura porticada tradicional genérica (Young, 2007).

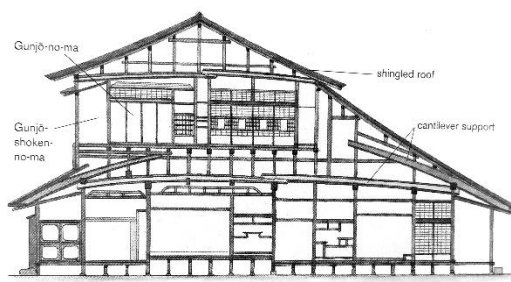


Fig. 91 - Seison-Kaku em estilos Shoin no piso térreo e Sukiya no piso superior (Young, 2007).

As fundações das mais antigas casas japonesas eram realizadas por meio de estacas cravadas no solo. Por motivos de durabilidade, a solução evoluiu para uma base de pedra sobre a qual assentava cada pilar, ou uma viga de pavimento com uma separação clara entre fundações e estrutura (com este sistema, evitavam-se os esforços de corte na base dos pilares). O pavimento estava elevado do solo cerca de 75cm, sendo o espaço inferior normalmente preenchido com pedras para não servir de esconderijo a animais e para evitar a acumulação de detritos (Benedetti & Bacigalupi, 1988). A grelha tridimensional de pilares era independente da cobertura que se assumia como estrutura autónoma (cf. figura 90). A solução da viga de soleira popularizou-se na primeira metade do século XVIII permitindo um mais rigoroso alinhamento dos pilares e serviu para nivelar mais facilmente a construção. Esta solução fornecia também rigidez adicional através da ligação aos diferentes pilares que se encaixavam com respigas. As ligações longitudinais e os encontros de vigas de pavimento perpendiculares, eram de tal modo executadas que os vários elementos funcionavam como uma única peça. Noutros casos, em vez de uma viga de soleira, utilizava-se perimetralmente uma viga elevada (45cm a 100cm acima do solo, em função da presença de humidades e riscos de inundações), ligada entre os pilares e suportando directamente o pavimento. Para além das vigas perimetrais definiam-se sob o pavimento vigas secundárias paralelas às primeiras, afastadas de um metro e geralmente assentes sobre postes de mais reduzida secção que os pilares. Finalmente um conjunto de vigotas afastadas cerca de 45cm entre si suportavam as pranchas de madeira (ou bambu) de acabamento do pavimento. As serras só entraram em uso depois do século XVII, pelo que as pranchas eram obtidas não por serragem, mas por processos de divisão por fractura da madeira (Benedetti & Bacigalupi, 1988). Os pilares eram espaçados cerca de 2,00m ao longo do eixo maior do edifício, tendo as casas mais antigas duas linhas de postes interiores que suportavam a parte central da cobertura, enquanto as linhas de postes do perímetro suportavam as restantes partes. Os sistemas de ligação entre pilares, vigas e cobertura variavam muito na complexidade das soluções. No caso de dimensões mais reduzidas, as vigas transversais ligam-se ao topo dos postes, sendo as vigas longitudinais e as vigotas de cobertura ligadas pela face superior da viga longitudinal. Um sistema alternativo consistia em ligar os topos dos pilares através das vigas longitudinais colocando-se depois as transversais sobre estas. À medida que se aumentava a largura do edifício, introduzia-se uma viga longitudinal intermédia, suportada por uma linha de pilares correspondente à cumeeira. As vigas transversais e os lintéis dos vãos assumiam a função de contraventamento da estrutura, fazendo face às acções dos ventos e dos sismos. As escoras oblíquas estavam ausentes das casas tradicionais, sendo a rigidez da estrutura conferida por intermédio de ligações de grande complexidade que exigiam um trabalho muito especializado (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

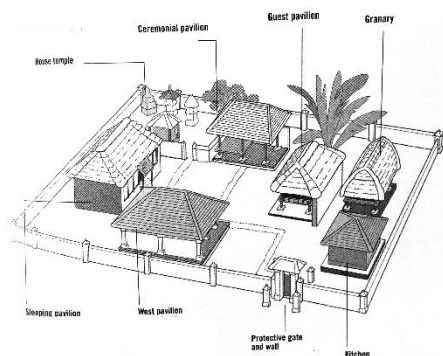


Fig. 92 - Kuren do Bali (May, 2010b).

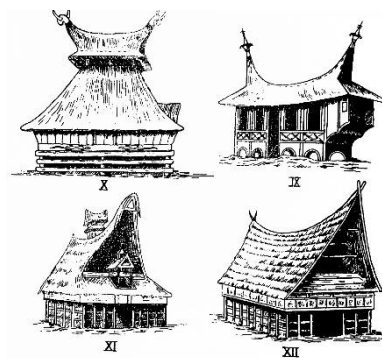


Fig. 93 - Tipos da ilha de Sumatra (Crouch & Johnson, 2001).

As características da arquitectura residencial japonesa, podem ser sintetizadas através da casa tipo *Motra*⁴⁰ (Young, 2007): estrutura porticada do tipo pilar-viga em madeira; pavimento elevado do solo; varandas exteriores cobertas; cobertura de varanda em geral independente; pilares que assentam em fundações de pedra salientes do solo; divisórias e paredes de correr; divisórias transluzentes com papel de arroz e paredes exteriores com painéis de argamassa estruturada; estrutura de cobertura com vigas longitudinais assentes sobre pilaretes que assentam nas vigas transversais, revestimentos de cobertura em colmo, shingles ou cerâmica; painéis exteriores de correr de madeira maciça que podem fechar e trancar o acesso ao interior; modulação do espaço interior e revestimentos com tatamis, para além de todo o programa funcional tradicional.

I.D.3 SUDESTE ASIÁTICO

O sudeste asiático⁴¹, que num sentido amplo inclui a “Austronésia”, é uma vasta região com algumas características culturais partilhadas. A Indochina, a Micronésia, a Polinésia, a maior parte da Malásia Peninsular, a costa do Vietname, Taiwan e partes da Nova Guiné são países marcados por uma cultura que se relaciona com o Induismo primeiro e com o Budismo depois. O calor é uma condicionante importante mantendo-se as temperaturas anuais médias nos 27°C. A estação húmida ocorre entre Maio e Outubro, com chuvas médias anuais entre 120 e 200cm. Em direcção ao equador, a temperatura média anual aumenta e as variações sazonais esbatem-se. Dominam as florestas tropicais e de monção, ocupando ainda uma superfície superior a 50% do território em países como a Tailândia, o Laos (60%) e o Camboja (75%). Abundam espécies de madeira duráveis como o Mogno e a Teca, que são também pouco sensíveis às flutuações de humidade. A Teca, devido ao seu peso específico, é abatida e descascada de imediato, sendo utilizada três anos depois, quando já perdeu a humidade que a tornaria difícil de trabalhar em verde (Pryce, 2005, p. 212). A construção nesta região é uma actividade com contornos socio-religiosos, mobilizando as comunidades que normalmente efectuam cerimoniais religiosos durante a construção (Pryce, 2005, p. 215).

Apesar da variedade de tipos de construção próprios de cada grupo étnico. As casas desta região têm uma morfologia comum: uma plataforma elevada que coincide com o corpo da casa e uma imponente cobertura com balanços para o exterior (Steele, 2009b, p. 57). Nestas regiões a construção de embarcações é um ofício muito valorizado, reforçando a utilização da madeira como uma das marcas culturais partilhadas pelos vários povos da região. A elevação dos pavimentos das habitações, por vezes a alturas muito elevadas do solo, é uma medida de segurança conta as inundações (devido às chuvas sazonais) e de protecção contra o ataque de animais selvagens. A parte inferior da habitação também é utilizada por vezes para

⁴⁰ Desenvolvida depois de 1868 e muito comum antes da primeira Guerra Mundial, sendo ocasionalmente construída ainda hoje.

⁴¹ Região que inclui, para além de Estados mais pequenos, a Tailândia, Laos, Camboja, Vietnam, Malásia, Indonésia e Filipinas.

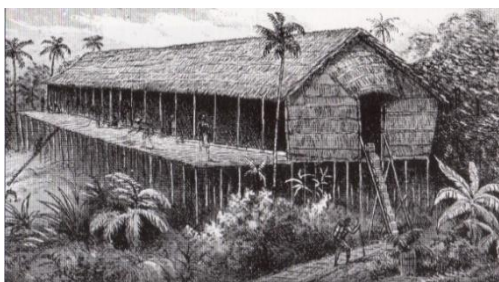


Fig. 94 - Casa comprida dos Iban no Borneo. (Roth, 2015)



Fig. 95 - Casa Batak na ilha de Sumatra (Steele, 2009a).

alojamento de animais domésticos ou armazenagem de utensílios agrícolas. As fundações materializam-se através de estacas ou de bases de pedra ao nível do solo. Quando são utilizadas bases de pedra, a partir destas desenvolvem-se elementos verticais com continuidade na estrutura da habitação. Em alternativa, utilizam-se “cepos” para elevar o pavimento.

O clima com fortes chuvas sazonais e elevadas temperaturas e humidade, exige uma ventilação eficaz, condicionando a forma da cobertura e as características da envolvente. Aliada ao clima, a influência cultural da China (cultura colonizadora desta região) justifica também algumas soluções adoptadas nas formas construídas (Benedetti & Bacigalupi, 1988). Na Malásia e Indonésia as casas tradicionais, incluindo as *Minangkabau* (Malásia e indonésia), no Camboja, as casas *Khmer*, na Tailândia, as casas *Lanna* e as casas *Thai* em madeira, com estruturas elevadas do solo, têm antecedentes na longa tradição Chinesa desenvolvida ao longo do rio Yangtze, como defesa contra as frequentes inundações, a malária e os animais (Steele, 2009a).

As casas do **Bali**, designadas Kuren (cf. figura 92), consistem num conjunto de edifícios implantados num terreno quadrado, incluindo o pavilhão de dormir, a cozinha, o alojamento dos hóspedes, o armazém, o pavilhão de trabalho e o pavilhão cerimonial, onde um conjunto de famílias podem coabitar. A estrutura das casas é normalmente de porticados de madeira tropical, assentes em estacas de madeiras folhosas sobre bases de alvenaria de pedra para maior protecção das térmitas e da “podridão seca”. As paredes interiores não portantes são realizadas com madeiras mais brandas e bambu. Os pavimentos são elevados do solo e a envolvente é construída para tirar partido da ventilação e para proteger os habitantes e os alimentos dos mosquitos. A cobertura é muito inclinada e muito projectada para o exterior, como forma de preservar a parede exterior das chuvas e como protecção do espaço interior em relação à incidência solar directa (May, Handmade houses, 2010a).

No Bali as habitações têm a tripartição genérica das casas da região, no entanto a base é construída com paredes de pedra ou tijolo e possuem as seguintes preocupações: hierarquia de espaços e orientação solar, respeito pela natureza, escala humana, clareza estrutural e verdade da expressão construtiva em relação aos materiais (Benedetti & Bacigalupi, 1988). A construção inicia-se obviamente pelas fundações, colocando-se depois as colunas sobre bases de pedra. A altura destas colunas é definida em relação às medidas do corpo da “proprietária da casa”, determinando-se assim as dimensões do pé direito e os diferentes componentes da construção. O módulo utilizado (*rahi*) é distância da base da palma da mão até à ponta do dedo indicador⁴².

⁴² A escala humana serve para obter as unidades de construção dos componentes a partir da estatura do dono da casa ou do sacerdote (Benedetti & Bacigalupi, 1988).



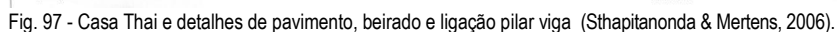
Fig. 96 - Casas *tongkonan* dos Toraja na aldeia de Palawa e casa em construção - Sul da Ilha Sulawesi (Oliver, 1987).

O respeito pela madeira, que tradicionalmente era predominantemente a Teca, reflecte-se nas cerimónias realizadas antes do abate das árvores, sendo segundo a crença uma forma de apaziguar os espíritos que ela contém. Também a ordem de montagem das colunas obedece a um ritual específico. A cobertura com uma espessura de cerca de 50cm é de colmo montada sobre madres de bambu. As ligações entre elementos de madeira são do tipo mecha e respiga ou a meia madeira. (Steele, 2009b, pp. 58, 59). O clima de Bali tem temperaturas entre 27°C a 30°C, uniformemente distribuídos ao longo do ano, mas com chuvas fortes entre Novembro e Abril. Estas condições e a consequente humidade do solo ditam as exigências construtivas. A casa tem um soco de alvenaria ou de terra elevado de três a quatro degraus. O número de postes utilizados dá a cada subtipo de casa o seu nome específico: *sikepat* para quatro postes, *sekenen* para seis postes ou *tiang sanga* para nove postes. A altura dos postes é igual a 23 vezes o primeiro dedo indicador, a base dos postes assenta sobre uma pedra em forma de cone truncado ou de disco, sendo a secção superior dos pilares mais reduzida. Este é um tipo de casa em que as suas poucas paredes não são estruturais, podendo ser por vezes realizadas em alvenaria. A cobertura é construída com elementos vegetais formalizando um espaço fechado, embora tenha alguns orifícios para assegurar a ventilação. A orientação da casa é importante porque simbolicamente o Sul (mar) é considerado a casa do mal, o Norte (montanha) é a casa dos deuses, o Nascente simboliza o nascimento e o Oeste a morte⁴³ (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

Na ilha de **Sumatra**, as casas dos *Batak Karo* (cf. imagens 93 e 95) têm uma estrutura vertical constituída por 16 troncos (com 35cm a 60cm de diâmetro) sendo os oito pilares exteriores (quatro de cada lado) contínuos até à cobertura. Os elementos da estrutura de pavimento e os elementos de ligação entre toros verticais são de secção rectangular. As ligações são feitas com entalhes e reforçadas com cavilhas. As coberturas são de elevada inclinação com empenas triangulares e beirados em balanço para proteger da chuva as zonas abertas para ventilação. As paredes exteriores inclinam-se para fora e são formadas por pranchas horizontais amarradas com fibras de palma formando uma grelha que favorece a renovação do ar do ambiente interior.

No **Borneo** desenvolvem-se as “casas compridas” dos *Iban* (cf. figura 94), que são casas em banda, com largura de 6,00m a 7,00m, erguidas acima do solo por intermédio de estacas, com varandas descobertas, utilizadas como zonas de circulação comum e de reunião. Cada

⁴³ As zonas nobres da casa são orientadas a Norte. Mas estando a montanha sagrada de Bali (monte Agung) a Leste, a orientação preferida da casa é nordeste-sudeste nos locais onde ela é visível. Nas áreas mais longínquas, a orientação Norte-Sul prevalece. Nos locais em que a montanha está a Sul (encosta norte), a orientação inverte-se. A planta das casas é em rectângulo próximo do quadrado com a diagonal orientada para a o Monte Agung. A nordeste localiza-se o templo da família e a sudoeste a cozinha e a despensa (Benedetti & Bacigalupi, 1988).



Na ilha de **Sulawesi**, as casas “*tongkonan*” de madeira dos *Toraja* (cf. figura 96), que segundo alguns autores datam do Neolítico, são lugares onde os membros se reúnem e toma parte em cerimoniais. A forma peculiar da cobertura tem encontrado várias hipóteses de explicação: por um lado poderia simbolizar os barcos com os quais os povos *Toraja* emigraram do Camboja, por outro lado, poderia ser uma mera apropriação da tecnologia conhecida da construção de barcos⁴⁴, outros ainda, consideram que a forma poderia simbolizar o touro que é considerado um animal sagrado (May, 2010a). As casas são de planta rectangular com o lado maior orientado num eixo Norte-Sul por motivos de crença na reminiscência do percurso dos antepassados que terão chegado do Sul. A casa é elevada do solo através de estacas rectangulares ou quadradas, algumas das quais se estendem até à cobertura. O espaço formado por baixo do pavimento é utilizado como abrigo para o gado (principalmente búfalos). Os tipos mais simples de casa têm apenas um nível de pavimento, mas existem variações com níveis diferentes que correspondem em princípio a diferentes funções. A estrutura principal da cobertura pode ser considerada uma “asna sem pernas”, formada com dois pórticos sobrepostos (“*sagging truss*”). As terminações da cumeeira têm um grande balanço em relação às fachadas de topo, sendo os dois beirados das duas águas convergentes ligados por pequenas asnas falsas em que o elemento correspondente ao pendural é particularmente evidente. A consola da cobertura pode ser suportada por um pilar robusto sobre o qual se colocam as presas de um búfalo sacrificado. As vigas que acompanham os beirais da cobertura em balanço convergem nas terminações do topo formando uma curva dirigida para cima. O revestimento é efectuada com diversas camadas de bambu, atados com folhas de cana-da-Índia, chegando a adquirir espessuras de 2,00m. As ligações entre os vários elementos de construção são asseguradas por meio de encaixes do tipo mecha e respiga, consolidadas por cavilhas. A decoração entalhada na madeira surge em todas as componentes visíveis da casa, enfatizadas por quatro cores simbólicas (vermelho, branco, amarelo e preto) que representam o sangue, os ossos, a saúde e a morte) (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

⁴⁴ O carácter singular destas casas é conferido pela forma da cobertura, cuja explicação é segundo Pryce principalmente simbólica, reportando-se ao mito de fundação da ilha segundo o qual o povo chegou do norte em embarcações que teriam sido utilizadas como abrigo (Pryce, 2005, pp. 242, 243).

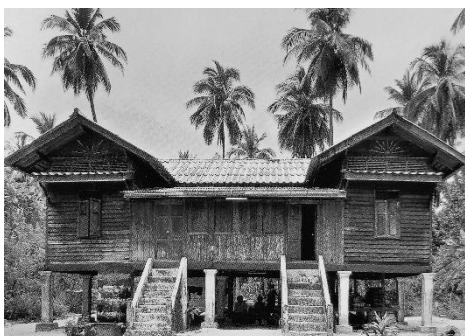


Fig. 98 - Casa Thai do Sul (Sthapitanonda & Mertens, 2006). Fig. 99 - Casa Thai do Norte (Sthapitanonda & Mertens, 2006).

precipitação excede os 30cm, concentrando-se em curtos espaços de tempo, sendo características as enxurradas com duração de cerca de uma hora (Sthapitanonda & Mertens, 2006). A cobertura de elevada inclinação tem os beirados projectados com o propósito de afastar a água do perímetro do espaço interior, apresentando um revestimento com folhas de palma ou soletos de madeira. O pavimento sobreelevado responde às frequentes inundações motivadas pelas chuvas e os elementos do terraço com juntas abertas permitem a mais rápida secagem da madeira. As paredes exteriores afunilam para o interior dotando a estrutura de maior contraventamento.

A construção da casa *Thai* estava envolvida em rituais astrológicos e de consulta ao “espírito do lugar”. A instalação dos dois primeiros pilares dava início à cerimónia, para os quais se escolhia a madeira da melhor qualidade. As casas eram orientadas de modo a que os quartos ficassem nos quadrantes Norte ou Leste, por serem os que proporcionavam um ambiente mais fresco. Em resposta à crença tradicional segundo a qual os espíritos poderiam entrar em casa, as portas de entrada tinham soleiras sobreelevadas dificultando ao mesmo tempo a entrada de répteis e reforçando também a estrutura (Pryce, 2005, pp. 228-231). Para além do carpinteiro a construção requeria um astrólogo e a escolha das madeira e os procedimentos de construção misturavam princípios técnicos e religiosos. Por exemplo, os pilares não podiam ser instalados enquanto exsudassem seiva e os seus nós não podiam ser de um determinado tipo nem estar localizados em certas zonas, e até a posição dos poste no solo obedecia a certas regras (Sthapitanonda & Mertens, 2006, p. 74).

Até meados do século XX, 80% do território Tailandês era floresta, embora no final dos anos 80 esse valor estivesse nos 20%. A madeira era por isso originalmente uma escolha natural, sendo a Teca a espécie mais utilizada por fornecer toros apurados e longos, contendo uma seiva que lhe conferia resistência aos insectos e fungos permitindo uma vida útil de até 200 anos (Sthapitanonda & Mertens, 2006, p. 70). Tradicionalmente, diferentes espécies de madeira eram escolhidas para diferentes elementos de construção. Para os pilares era escolhida uma madeira muito durável, (*Indian coral wood*) e para a restante estrutura utilizava-se a referida Teca (*Tectona grandis*). Nas ligações tipo mecha e respiga, as cavilhas eram de *Blackwood*. O acabamento da madeira no interior era polido e no exterior era deixado em bruto ou era pintado. No século XIX começou-se a importar uma pintura com base de creosote cuja coloração vermelha conferia uma cor que passou a ser característica das casas *Thai* (Pryce, 2005, pp. 228-231).

Podem distinguir-se cinco tipos principais de casas Tailandesas (não incluindo as casas de bambu e as cabanas temporárias dos arrozais): as Siamesas (da região central), as do Norte (cf. figura 99), as do Nordeste, as do Sul e as casas sobre a água. Uma distinção principal é percebida nas formas da cobertura que é mais arqueada nas casas Siamesas ou menos pronunciada nas casas do Nordeste (mais árido e menos chuvoso) ou no tipo de pilares

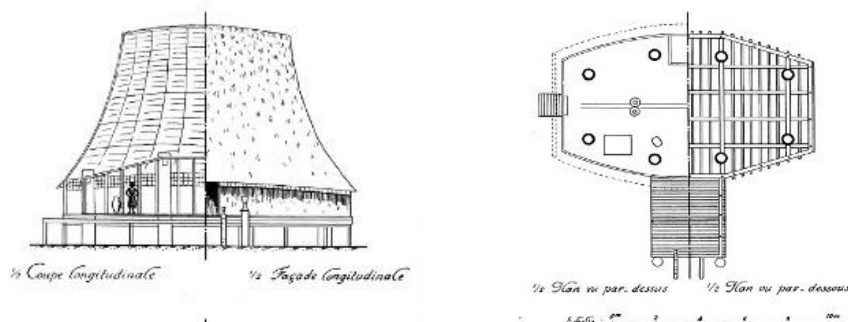


Fig. 100 - Casa dos Bahnar - Vietnam (360 Degrees Vietnam, 2015).

assentes em colunas de pedra das casas do Sul. As restantes características distintivas são menos estruturais. Nas casas do Sul (cf. figura 98) surge por exemplo uma base de colunas em pedra que para além de constituir uma protecção contra as térmitas e a humidades, permite também a sua relocação em caso de necessidade (Sthapitanonda & Mertens, 2006).

A construção das casas recorre a uma metodologia de pré-fabricação que permite a construção da casa num dia. As paredes são constituídas por painéis de dimensões modulares, sendo ligados através de encaixes à estrutura porticada. A ligação através de encaixe é uma solução que, segundo Sthapitanonda & Mertens (2006), contribui para a durabilidade da estrutura, se comparada com as ligações pregadas que ocorrem nas casas do Nordeste. As ligações pregadas que é uma prática generalizada actualmente, embora facilitando a sua desmontagem, normalmente causam problemas devido à retracção e inchamento da estrutura (Sthapitanonda & Mertens, 2006).

No **Vietname**, o povo *Bahnar* constrói casas erguidas em colunas altas e coberturas que chegam a ter cerca de 20m de altura (cf. figura 100). Acede-se à entrada principal através de escadas inclinadas, talhadas em toros. São necessários quatro carpinteiros e quatro entalhadores para completar uma casa durante um ano, sendo a cobertura realizada com componentes de madeira e revestimento em colmo, o componente que demora mais tempo a finalizar. A cobertura promove a ventilação, eliminando o ar quente que sobe através de aberturas no final da cumeeira em cada um dos topos. O processo construtivo é associado a um ritual que pressupõe a consulta de cartas astrológicas. O primeiro acto da construção consiste em erguer a grande cumeeira que suporta a cobertura⁴⁵. A influência da China faz-se sentir em concreto através da regra *luban*, introduzida pelos chineses no século VIII DC. Esta regra impõe um sistema modular baseado em duas dimensões que permitem estabelecer as várias medidas dos elementos da construção (Steele, 2009b, pp. 106, 107).

As casas nas árvores dos *Korowai* da Papua Oeste, na Indonésia, são uma resposta às condições adversas do solo, pantanoso e húmido. Correspondem a estruturas construídas acima do solo entre 8,00m a 12,00m, podendo chegar a alturas com 45,00m. Cada habitação pode alojar famílias de dez pessoas e ter uma durabilidade de cerca de cinco anos. A estrutura das casas é composta de um reticulado leve de palma, com elementos de madeira, cobertos com casaca de árvore, suportada por quatro a dez postes cravados no solo (May, Handmade houses, 2010a).

⁴⁵ Nestes procedimentos está presente a superstição segundo a qual, se os carpinteiros não forem bem tratados pelo dono da casa, estes podem lançar uma maldição sobre a casa.



Fig. 101 - Casa de madeira em Queensland, Austrália, cerca de 1875
(<http://www.flickr.com/photos/statelibraryqueensland/5035192676/in/photostream/>).



Fig. 102 - Refugiado Moçambicanos constroem abrigos tradicionais na Tanzânia (Oliver, 1987).

I.E Outras regiões

Muitas outras regiões com tradições indígenas e coloniais poderiam ser objecto de análise e descrição com interesse para a construção em madeira, mas devido à necessidade de limitar a extensão do texto, abrangeram-se apenas a as regiões mais importantes da Europa, da Ásia e da América do Norte, uma vez que terão sido aquelas que do ponto de vista das tradições da construção em madeira mais importância terão tido a nível global. Assim, a Europa do Norte e de Leste com a construção em toros, a Europa Central e Reino Unido com os reticulados pesados e a América do Norte com os porticados primeiro e os reticulados leves depois são representativos da diversidade que se consegue obter com a construção em madeira. Quanto à construção de porticados pesados, foi sem dúvida o Oriente que desenvolveu a tradição mais robusta, tendo inclusive disponibilizado um modelo fundamental para algumas das características espaciais da arquitectura residencial do Movimento Moderno.

Muitos exemplos de outras regiões poderiam ter sido mencionados e até examinados mais em detalhe e muitas omissões foram cometidas. Na Europa apenas se mencionou superficialmente a tradição das regiões dos Balcãs e dos Cárpatos. Nem a Austrália⁴⁶ nem as Filipinas⁴⁷ foram simplesmente abordadas. Na Ásia, a Índia⁴⁸, o Paquistão e até o Afeganistão poderiam também merecer análises mais atentas. Os muitos exemplos de reticulados leves e porticados leves em África⁴⁹ e nas Américas Central⁵⁰ e do Sul⁵¹, ofereceriam uma grande

⁴⁶ A Austrália tem uma história com algumas semelhanças às dos Estados Unidos, com o desenvolvimento de um sucedâneo do balloon-frame e um tipo especialmente famoso de casas de madeira, o Queenslander que depois é substituído pelo fenómeno do Bungalow.

⁴⁷ Nas Filipinas, na província de Kalinga, destacam-se as casas octogonais com uma estrutura porticada de quatro postes internos e oito externos. Os primeiros, cravados no solo, suportam a zona principal da habitação, à qual se acede por uma escada. Os restantes, assentam sobre bases de pedra e suportam a cobertura. A zona inferior da casa funciona como espaço de trabalho. As paredes exteriores são revestidas ao nível superior com pranchas de madeira e ao nível inferior com troncos revestidos de bambu entrelaçado e a cobertura é de colmo (May, Handmade houses, 2010a)

⁴⁸ Na Índia utiliza-se pelo menos desde o século XII a *dhajji-dewari*, nos pisos superiores dos edifícios ou seja um reticulado de madeira (Vasconcelos, Lourenço, & Poletti, 2013). Na Índia antiga, a arquitectura em pedra estava reservada para os edifícios religiosos, sendo proibida para as habitações. Esta condicionante justifica a utilização da madeira de uma forma continuada (Silveira, 2008). A madeira foi desaparecendo gradualmente como material de construção à medida que a construção em taipa e laterite foi sendo adoptada por "oferecer maior resistência à agressividade do clima" (Silveira, 2008, p. 89). Os textos sagrados prescreviam regras quanto à escolha da madeira e à altura de cortar as árvores. As árvores em redor de cemitérios, adjacentes a ruas urbanas, templos e tanques não deveriam ser cortadas. A idade óptima de derrube de uma árvore seriam os 66 anos, sendo este acontecimento regulado por um ritual que prescrevia que esta não deveria cair nas direcções sul ou oeste e que o corte deveria ser realizado à noite para permitir a transferência pacífica de espíritos.

⁴⁹ Na África subsariana, o Lago Nokoué, no Benim suporta a maior povoação de palafitas africana: o povoado de Ganvié. Com cerca de 3.000 casas e uma população de 25.000 pessoas. A casa típica tem uma estrutura de reticulados leves de madeiras tropicais, assentes sobre estacas com cobertura de colmo (May, Handmade houses, 2010a). Também na África subsariana, os nómadas Rendille do norte do Quênia ocupam terras semiáridas recorrendo a abrigos portáteis (*min*). São construídos com um reticulado leve de duas zonas distintas, uma com elementos curvos (a zona de dormir) e outra com elementos rectos inclinados (zona pública), pela qual se efectua a entrada (May, Handmade houses, 2010a, pp. 112, 113). Os povos *Zafimaniry* das terras altas e florestadas de Madagáscar utilizam a madeira como material de construção integral das suas habitações. A construção

quantidade de matéria para verificar a importância dos factores que escolhemos para tentar explicar as tradições da construção em madeira. Considera-se no entanto que muitas das soluções construtivas encontradas em algumas das regiões omitidas iriam coincidir com as das regiões cobertas pelo texto. A este propósito Oliver diz que:

"(...) we may find that the structural principles on which buildings are erected in a remote island in the pacific are not necessarily greatly dissimilar from those in other parts of the world" (Oliver, 1987).

Em conclusão: Apesar de todas as diferenças culturais e de contexto, a História da construção em madeira prova que o Homem, acaba por construir soluções semelhantes quando as condicionantes são também semelhantes. Esta situação será tanto mais verdadeira quanto mais pragmática for uma sociedade e quanto mais liberta estiver de constrangimentos de ordem religiosa. Mesmo nas situações onde a singularidade das soluções é afirmada - o que acontece em alguns casos que foram observados ao longo do texto - esta manifesta-se mais frequentemente nas componentes não estruturais da forma, revelando a estrutura quase sempre uma resposta baseada em princípios de racionalidade.

da casa e o casamento estão associados, coincidindo o matrimónio com a construção de um abrigo frágil em bambu, sendo depois melhorado com o tempo através de pranchas de madeiras de espécies folhosas transformando-se numa cabana de madeira rectangular com uma cobertura de duas águas. O sistema construtivo utilizado será o de um conjunto de paredes leves de pranchas com encaixes macho-fêmea e alguns elementos pesados nomeadamente nos cantos e um poste central (May, Handmade houses, 2010a). As habitações Zulus da província de Kwazulu-Natal são construídas em forma de cúpula com uma estrutura de reticulados leves de madeira, cruzados em ângulos rectos, ligados e cobertos de colmo. Adicionalmente, postes verticais suportam a estrutura de abrigos de maiores dimensões (May, Handmade houses, 2010a, pp. 116, 117).

⁵⁰ Na América Central, os Tzotzil habitantes nas montanhas das regiões centrais do estado de Chiapas com florestas de pinho, têm um tipo comum de casa com planta quadrada com estrutura de madeira. Consiste num reticulado de pilares e vigas, com paredes de argamassa estruturada e uma cobertura piramidal coberta de colmo (May, Handmade houses, 2010a). Os índios Maia do Yucatan (México) desenvolvem abrigos reticulados leves básicos (Oliver, 1987). Nos Barbados e em algumas regiões das British West Indies a *chattel house* é uma casa que surgiu no século XIX, como uma *mobile home* (*chattel* significa propriedade móvel). Era utilizado pelos escravos libertados que trabalhavam nas plantações e que habitavam nas imediações, sendo obrigados por vezes a mudar o local de trabalho e habitação. A madeira da estrutura era importada dos Estados Unidos e as peças eram pré-cortadas (May, Handmade houses, 2010a).

⁵¹ Na América do Sul, destaca-se a *quincha*, uma construção de um piso com um reticulado de madeira preenchida com canas e coberta com terra e gesso (Vasconcelos, Lourenço, & Poletti, 2013). Nas montanhas do norte do Brasil, os *Yanomami Shabano* constroem uma estrutura comunal composta por módulos que configuram duas bandas encurvadas organizadas em redor de um espaço comum. A estrutura é composta de um porticado simples com pilares de madeiras folhosas cravados no solo que suportam uma cobertura inclinada (May, Handmade houses, 2010a).

II A MADEIRA COMO MATERIAL

É objectivo deste anexo descrever genericamente a madeira enquanto material tendo em conta que o conhecimento das suas características e do seu comportamento são importantes para a sua correcta utilização na construção. Steiger (2007, p. 9) considera que os iniciados na construção em madeira não necessitam de um conhecimento extensivo das variedades de madeira existentes porque na maior parte das soluções construtivas apenas um leque reduzido de coníferas será utilizado. Assim, será mais importante a compreensão da estrutura anatómica da madeira e das suas propriedades físicas uma vez que estas têm implicações no seu comportamento estrutural e na sua durabilidade.

O conhecimento da madeira pode ser efectuado mediante três perspectivas diferentes (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 5): a microestrutural ou da escala celular, a mesoestrutural ou da escala do anel de crescimento e a macroestrutural ou da escala da madeira como material de construção. Essencial para o Arquitecto será a compreensão da relação entre os diversos níveis e o entendimento das consequências da estrutura celular da madeira no comportamento higroscópico, anisotrópico e viscoelástico⁵², uma vez que são essas características que mais condicionam a concepção estrutural e arquitectónica.

II.A A árvore

As **árvores** são plantas terrestres que se diferenciam de outras plantas por terem caules lenhosos, distinguindo-se também dos arbustos por possuírem um tronco ou fuste a partir do qual surgem ramificações secundárias. O desenvolvimento dominante do fuste resulta do domínio do meristema apical que é o gomo responsável pelo crescimento (Silva, 2007, p. 19). Numa definição possível pode considerar-se que as árvores são organismos vegetais vasculares de grande longevidade e de grandes dimensões, com capacidade de crescimento vertical e lateral e com uma altura igual ou superior a 5,00m⁵³ (Hoadley, 2000) e cuja forma e estrutura é dominada por um tronco.

Nas árvores podem-se considerar duas partes distintas: a aérea e a radicular. A parte aérea é a fundamental e dentro desta, a componente que mais interessa para a construção em madeira é o tronco. Ao tronco ligam-se as pernadas, as braças, os ramos e os raminhos que por sua vez suportam folhas, flores e frutos. A parte subterrânea é constituída pela raiz principal e pelas raízes secundárias que são subdivididas até terminarem em pêlos radiculares (Carvalho A. , 1996, p. 19; Hoadley, 2000).

A **copa** é uma formação aérea localizada sobre o fuste, não tendo o seu conhecimento importância aparente do ponto de vista da construção civil. De maior importância, como foi referido, será o estudo do **fuste** que corresponde à componente do tronco relativamente livre de ramificações. Os cortes transversais e longitudinais do tronco permitem observar a olho nu os componentes básicos da madeira: a casca, o **cerne** e o **borne**. O cerne e o borne que constituem a madeira propriamente dita distribuem-se em redor da medula e dispõem-se

⁵² Cargas permanentes no tempo geram flechas crescentes.

⁵³ As mais antigas e mais altas árvores do mundo surgem nas florestas Australianas e Americanas com Pinheiros, Sequóias e Eucaliptos que superam os 100m e os 150m de altura com diâmetros na base entre 3,00m e 9,50m. Um *Pinus longaeva* abatido (por engano) no Estado do Nevada em 1964 teria uma idade de 4.864 anos (Silva, 2007). Actualmente a mais alta árvore do mundo é uma Sequóia Californiana com 115m, referindo-se anteriormente um Eucalipto Australiano com 117,00m de altura (Silva, 2007, p. 19). Na nossa floresta surgem Teixos, Carvalhos, Castanheiros, Sobreiros e Oliveiras com idades entre dois e três mil anos (Carvalho A. , 1996). A árvore mais antiga poderá ser uma Oliveira em Santa Iria de Azoia com 2.850 anos e a árvore mais alta, um Eucalipto com 70m de altura localizado na Mata de Vale de Canas perto de Coimbra.

segundo anéis de crescimento. Entre a casca e o borne situa-se o câmbio que é uma fina camada de células com protoplasma nas suas cavidades celulares (Hoadley, 2000).

II.A.1 NÍVEL MICROSCÓPICO

A análise microscópica da estrutura celular das diferentes madeiras permite compreender certos aspectos da transformação dos toros em componentes de construção. Permite entender por exemplo o fenómeno da penetração diferencial da tinta na superfície da madeira, ou da diferente aderência de adesivos entre diferentes espécies de madeira ou ainda o que acontece na superfície de uma madeira lixada na direcção perpendicular às fibras. No entanto a observação da árvore como um “organismo integral” (Hoadley, 2000, p. 7) permite outro tipo de análise como por exemplo o conhecimento e distinção dos diferentes tipos de fibra, o conhecimento das partes da madeira mais e menos duráveis, ou ainda o conhecimento dos defeitos que podem afectar o comportamento dos componentes de madeira.

A **madeira**⁵⁴ foi definida do seguinte modo por Carvalho (1996):

*“(...) é a dimensão material do lenho e o **lenho** (o tecido principal das árvores) é um agregado cientificamente definido de **células lenhosas** (designadas como fibras), arquitectonicamente organizadas e maravilhosamente harmonizadas, de sorte a desempenharem funções vitais de transporte de líquidos seivosos; de suporte de uma estrutura hercúlea submetida a solicitações mecânicas quantas vezes inquantificáveis; e de armazenamento de produtos de reserva, de actividade metabólica ou de secreção muito importantes” (Carvalho A. , 1996, p. 20).*

As células agrupam-se em tecidos com diferentes funções e características. Os três principais tipos de tecidos são o **tecido fibroso** com função mecânica e circulatória, o **tecido vascular** com função de condução de seiva ascendente e radial e o **tecido parenquimatoso** com função de armazenamento. Outros tecidos encontrados na madeira são os secretores, epiteliais, traumáticos, de reacção, etc. (Carvalho A. , 1996, p. 20). As células de cada tecido, embora diferenciadas pela sua morfologia e função, têm em comum serem constituídas por uma parede **celulósica** que rodeia uma cavidade celular interior e serem agrupadas e solidarizadas pela **lenhina**. Algumas células contêm protoplasma vivo, enquanto outras estão mortas contendo apenas seiva ou noutros casos apenas ar (Hoadley, 2000).

O crescimento das árvores é assegurado pelos **meristemas** e **câmbios** responsáveis pela formação de células lenhosas (Carvalho A. , 1996). A maioria das células desenvolve-se segundo o eixo longitudinal do tronco da árvore, variando muito as suas dimensões e formas. Só em algumas espécies as células de maiores dimensões são visíveis a olho nu, como acontece com o Castanheiro. Existem outros grupos de células dispostas de forma mais descontínua e desenvolvendo-se num eixo horizontal. Estas células são os **raios lenhosos** que se desenvolvem a partir da medula e têm como função a condução horizontal da seiva. Algumas destas células podem armazenar carbo-hidratos para alimentar outras células (por exemplo as que se encontram em desenvolvimento). Os raios lenhosos são normalmente invisíveis a olho nu, embora possam ser observados em espécies como o Carvalho e a Bétula (Hoadley, 2000).

As células da madeira no seu conjunto formam o **tecido lenhoso**⁵⁵ e as células da casaca formam o tecido suberoso, sendo ambos perenes no sentido em que uma vez formados, as células mantêm a sua forma e dimensão. As células dos tecidos reprodutivos (meristemas⁵⁶) podem ser divididas para formar novas células como acontece com os meristemas perimetral

⁵⁴ A madeira do caule é a acumulação de células que constituem a unidade estrutural de base do material (Hoadley, 2000).

⁵⁵ Terminologia adoptada por Albino de Carvalho

⁵⁶ O meristema é um tecido vegetal das extremidades das raízes e rebentos cujas células se dividem continuamente. Há os meristemas primários e os secundários que podem surgir noutras regiões da planta dando origem a tecidos de crescimento secundário (Queiróz & Mascaranhas, 1981).

e apical. O **meristema perimetral** é responsável pela divisão do **câmbio** do qual resulta o aumento da espessura da árvore. O **meristema apical** é responsável pela divisão celular que conduz ao crescimento em comprimento⁵⁷ (eixo caulinar). As células da **medula** são deixadas no centro do tronco durante o processo e percurso do meristema apical (Hoadley, 2000), materializando-se no agregado de células parenquimatosas da estrutura primária (Carvalho A. , 1996). Os dois processos de crescimento são simultâneos pelo que há uma diferenciação cíclica de novas camadas do lenho que se sobrepõem às anteriores com uma forma cônica observável no plano transversal por anéis concêntricos, no plano radial por fibras paralelas e no plano tangencial com formas de arco sensivelmente ogival (Carvalho A. , 1997).

O crescimento da árvore é possível devido à seiva elaborada que é utilizada para construir novas células na camada de câmbio. Esta seiva resulta da captura de água e nutrientes pelas raízes, que migra através das células até às folhas. Parte dessa água evapora-se através da superfície das folhas e a restante contribui para o processo de fotossíntese que combina a água com o dióxido de carbono da atmosfera catalisado pela clorofila e mediante a presença da energia solar. Ao consumo de dióxido de carbono corresponde a libertação de Oxigénio, produzindo-se um açúcar básico contido na seiva elaborada para alimentar o crescimento da árvore ($C_6H_{12}O_6$) (Hoadley, 2000).

A actividade de crescimento dá-se no câmbio, no qual as células-mãe se dividem no seu comprimento, formando duas células, uma das quais cresce para se tornar noutra célula cambial enquanto a outra amadurece como célula da casca ou do lenho conforme sejam formadas para o lado exterior ou interior (Hoadley, 2000). Chama-se câmbio vascular (ou libero-lenhoso) às células (meristemáticas) que dão origem ao xilema ou lenho e chama-se câmbio suberoso às células que produzem o suber (Carvalho A. , 1996). No câmbio vascular as novas células são de três tipos: as iniciais cambiais, as de xilema e as radiais iniciais (que por sua vez também se dividem) e uma vez atingidas as suas dimensões definitivas forma-se uma parede secundária com celulose (*cadeia de moléculas longas e estáveis*) *fortificada por lenhina* (Hoadley, 2000). A casca viva é considerada a camada entre o câmbio vascular e o câmbio lenhoso. Dá-se o nome de casca morta ou ritidoma à camada exterior ao câmbio suberoso (Carvalho A. , 1996).

O ritmo de desenvolvimento da árvore é rápido no início da estação de crescimento (de 8 horas a 18 horas entre sucessivas divisões), desacelerando até ao final da estação (Carvalho A. , 1996). Nas últimas fases de desenvolvimento das células de xilema (lenho), a maior parte das células perde o seu protoplasma vivo armazenando apenas seiva no seu interior, podendo nuns casos ter a função de condução de seiva e noutros casos a função de suporte da árvore, havendo ainda outras células (em reduzida percentagem e contidas nos raios lenhosos) cuja função é assimilar e guardar alimento (Hoadley, 2000).

Durante a estação de crescimento as células do câmbio, que têm paredes primárias muito finas, têm um elevado conteúdo de água. Nesta altura, a casca consegue-se remover facilmente. Ao contrário, no Inverno, as paredes das células aumentam de espessura tornando-se a casca mais aderente à madeira. Este aspecto pode ter importância em certas aplicações como por exemplo quando se pretende obter componentes de tronco despidos em

⁵⁷ O meristema apical desenvolve-se nos gomos que dão origem a renovos ou lançamentos terminais. No interior do gomo encontra-se o futuro renovo. O gomo forma-se num ano passando o Inverno em dormência e expande-se constituindo um novo ramo na Primavera (Carvalho A. , 1996, p. 21).

cabanas de toros de secção circular sobrepostos ou porticados será vantajosos cortar as árvores na estação de crescimento (Hoadley, 2000).

II.A.2 ANÉIS DE CRESCIMENTO

Se as condições ambientais forem favoráveis, a actividade de crescimento continua a desenvolver-se durante a estação de crescimento. O ciclo de crescimento alterna com uma estação de repouso nos climas temperados. A formação das células que decorre ciclicamente no câmbio resulta em camadas de crescimento diferenciadas, designadas por **anéis de crescimento** ou anéis anuais por corresponderem a um ano de crescimento⁵⁸. Diferentes espécies manifestam características singulares nos anéis de crescimento devido a diferenças na estrutura celular, nomeadamente devido à espessura das paredes das células e devido à forma como se agrupam e distribuem (Hoadley, 2000).

Em cada anel de crescimento distinguem-se duas camadas contrastantes, sendo a primeira o lenho de início de estação ou **lenho inicial** e a segunda o **lenho de final** de estação ou lenho final⁵⁹. As designações para o lenho inicial e o lenho final podem ser também “lenho de início de estação ou de Primavera” e “lenho de final de estação ou de Outono” (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 8) ou ainda de Verão. Estas designações podem ser de algum modo enganadoras por sugerirem uma correlação com as estações do ano, quando em certos casos os anéis se podem desenvolver de forma intermitente devido a variações na precipitação, independentemente das estações do ano. A madeira de final de estação tem maior densidade que a de início de estação, podendo a transição ser abrupta ou gradual, havendo espécies em que a diferenciação dos lenhos não é visível. Encontram-se grandes variações na largura, contraste e nitidez dos anéis de crescimento, não só entre diferentes espécies, mas também na mesma espécie desenvolvida em diferentes condições de terreno, água e clima. Os anéis de crescimento variam também na mesma árvore em função dos diferentes níveis de altura do tronco. Em algumas regiões tropicais o crescimento é contínuo, produzindo-se madeira sem anéis de crescimento (Hoadley, 2000).

II.A.3 PARÊNQUIMA LENHOSO

Ao tecido formado por pequenas células com funções de armazenamento e condução de nutrientes dá-se o nome de **parênquima**. Essas células contêm um protoplasma vivo enquanto borne, mas ficam desprovidas dele no final da formação do cerne. Têm no entanto uma longevidade superior aos traqueídeos, aos vasos e às fibras, conseguindo manter-se vivos durante vários anos (Mullins & McKnight, 1981). Podem distinguir-se três tipos de células parenquimatosas: o **parênquima radial** correspondente à maior parte das estruturas radiais da árvore como os raios lenhosos; o **parênquima epitelial** que envolve os canais de resina de alguns géneros de resinosas; e o **parênquima axial** ou longitudinal (Carvalho A. , 1997) que se desenvolve no sentido das fibras com funções de armazenamento e condução de madeira.

II.A.4 RAIOS LENHOSOS

Os **raios lenhosos** que se encontram em todas as espécies são agregações de células predominantemente **parenquimatosas**, muito mais pequenas que as fibras, organizando-se a partir da medula perpendicularmente aos anéis de crescimento em direcção à periferia. Os

⁵⁸ A taxa de crescimento predominante pode ser um parâmetro de identificação das essências florestais. Assim em função da dimensão da camada surgem as seguintes classes (em mm): Camadas finíssimas ($\leq 1,5$); Camadas muito finas (1,5-2,0); Camadas finas (2,0-2,5); Camadas medianamente finas (2,5-3,0); Camadas medianamente largas (3,0-3,5); Camadas largas (3,5-4,0); Camadas muito largas ($> 4,0$) (Carvalho A. , 1997).

⁵⁹ Albino de Carvalho utiliza esta denominação (lenho inicial e lenho final).

raios lenhosos acumulam as funções de reservatório e de nutrientes e de condução transversal de seiva. São particularmente importantes para a identificação das espécies folhosas, ao contrário do que acontece nas resinosas, onde a sua reduzida dimensão e uniformidade dificultam a identificação sem o recurso a lentes auxiliares (Carvalho A. , 1997). O Carvalho por exemplo apresenta raios lenhosos que podem atingir 1mm de diâmetro e quando o corte da árvore é efectuado em quartos os raios são observáveis nas suas faces (Mullins & McKnight, 1981).

II.A.5 CLASSIFICAÇÃO SISTEMÁTICA

A *classificação sistemática* permite distinguir os diferentes tipos de árvores. O **reino das plantas** é composto segundo a *classificação Botânica*⁶⁰ por várias grandes divisões, sendo a divisão das **espermatófitas** a que inclui todas as plantas de semente. Esta divisão é repartida por sua vez em dois grandes grupos (distinguidos pela forma como as sementes se apresentam): as **gimnospérmicas** (com significado de “sementes nuas”) que incluem todas as coníferas⁶¹, também chamadas **resinosas** e as **angiospérmicas**⁶² (sementes revestidas) que incluem as dicotiledóneas, também designadas **folhosas**. Estes grupos são por sua vez subdivididos em ordens, famílias, géneros e espécies (Hoadley, 2000).

As **coníferas** são caracterizadas por possuírem folhas em forma de agulha ou escamiformes, com sementes expostas, nascendo geralmente em “cones” ou pinhas, tendo geralmente um tronco dominante vertical com ramos laterais subordinados. Os exemplos mais familiares são os Pinheiros, os Espruces, os Abetos, as Tsugas e os Cedros (Hoadley, 2000), que à excepção do Larício mantêm as folhas no Inverno (Mullins & McKnight, 1981). As **folhosas** caracterizam-se por terem flores, estando as sementes envolvidas por um fruto e são maioritariamente de folha caduca, ou seja as suas folhas caem no Outono. Os exemplos mais familiares são o Castanho, o Eucalipto, o Carvalho e a Nogueira. A sua forma tende a ser dendrítica, caracterizada por ramificar e re-ramificar a partir do tronco principal (Hoadley, 2000).

O único modo rigoroso de designar uma espécie de madeira é através do seu nome científico. A utilização dos nomes científicos é importante porque geralmente há uma grande inconsistência nos nomes comuns (Hoadley, 2000) que são utilizados de forma ligeira e confusa. Utilizando a taxonomia convencional, o comumente designado “*Eastern white pine*” seria classificado do seguinte modo: Reino: Plantas; Divisão: Espermatófitas; Subdivisão: Gimnospérmica; Ordem: Coniferales; Família: Pinaceae; Género: Pinus; Espécie: Strobilus.

⁶⁰ “Há um grau de subjectividade na classificação dos seres vivos em geral e nas plantas em particular. No reino vegetal são vulgares os híbridos férteis por um lado e também os cruzamentos entre espécies de géneros distintos. O processo evolutivo apresenta também subespécies que se diferenciam de tal modo da espécie basiónima que se torna difícil discernir se efectivamente merecem o estatuto de espécie à parte. Mas a **espécie** tem sido a categoria básica de toda a taxonomia. As espécies válidas agrupam-se em **géneros**. Da combinação das palavras usadas para designar o género (nome genérico, substantivo em maiúscula inicial) e a espécie (epíteto específico, quase sempre adjectivo, grafada em minúsculas) resulta o nome científico, universalmente reconhecido por todos os cientistas. A **família** agrupa os géneros em função da existência de antepassados comuns filogeneticamente próximo. A família é designada pela derivação do seu género mais representativo, cujo nome é modificado pelo sufixo -aceae. Das diversas categorias vegetais de nível superior destaca-se a divisão entre **Gimnospérmicas** e **Angiospérmicas**. Dentro da divisão Angiospermeae os mais recentes estudos reconhecem três clados fundamentais ou agrupamentos filogenéticos: as magnoliídeas, as monocotiledóneas e as eudicotiledóneas (estas duas últimas eram reunidas nos sistemas antigos num grupo chamado dicotiledóneas)” (Silva, 2007, pp. 24,25).

⁶¹ Outra ordem das gimnospérmicas para além da Coniferales é a Ginkgoales que apenas tem uma espécie, o Ginkgo Bilboa. Pensa-se que é a árvore mais antiga do mundo, com 200 milhões de anos (a terra formou-se há 4,5 mil milhões de anos).

⁶² “Quanto à reprodução, existem duas categorias de flores: as falsas e as verdadeiras. As primeiras são um órgão reprodutor muito primitivo na versão feminina, da qual o óvulo e a semente que dele resulta repousam desnudos sobre uma escama, pelo que as plantas resultantes se denominam **gimnospérmicas** (sementes nuas em Grego). As segundas são um órgão reprodutor relativamente recente e sofisticado no qual o óvulo e a semente que nele resultam são envolvidos num ovário protector recebendo por isso as respectivas plantas o nome de **angiospérmicas** (sementes vestidas em Grego). Na linguagem prática do dia-a-dia estas categorias são chamadas de **resinosas** e de **folhosas** respectivamente” (Silva, 2007, pp. 22, 23).

Para designar uma espécie particular de madeira basta utilizar a combinação do género (*genus* - *nome genérico*) e da espécie (*species* - *epíteto específico*), ou seja no caso do “*Eastern white Pine*” teríamos a designação *Pinus strobus*⁶³ (Hoadley, 2000).

Na construção, a madeira utilizada em componentes estruturais é normalmente proveniente de espécies resinosas. Este facto pode ser explicado pela sua menor densidade relativa (varia entre 0,30g/cm³ e 0,55g/cm³) e pela consequente facilidade de transformação, mas também pela sua disponibilidade na zona temperada e pela forma alongada do fuste que permite uma extracção de componentes maiores. Das características anteriores resulta uma madeira mais económica e um rácio resistência/peso mais favorável (CMHC, 2001). As madeiras mais pesadas como o Carvalho são difíceis de transformar, o seu crescimento é mais lento e a sua forma é mais ramificada pelo que o seu uso é bastante reduzido actualmente. Algumas madeiras folhosas como o Castanheiro e o Choupo *têm sido utilizadas na construção por oferecerem formas mais adequadas e maior facilidade de transformação* (Hoadley, 2000).

II.A.6 ESTRUTURA CELULAR

A observação da estrutura anatómica das espécies de madeira permite compreender as diferenças entre resinosas e folhosas. A anatomia da madeira ajuda a explicar as zonas de maior e menor dureza, os pontos de separação potencial das fibras, a permeabilidade e consequentemente permite entender o comportamento da madeira perante a secagem, a aplicação de pinturas e principalmente o seu comportamento anisotrópico (Hoadley, 2000). As coníferas apresentam uma estrutura mais homogénea que as folhosas porque cerca de 90% dos seus elementos constituintes são traqueídeos. Já as folhosas são constituídas por uma maior diversidade de elementos desigualmente distribuídos (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

II.A.7 ESPÉCIES RESINOSAS

Nas espécies resinosas⁶⁴ os **traqueídeos** são células fibrosas alongadas que representam entre 90% a 95% do volume total da madeira com um comprimento 100 vezes superior ao seu diâmetro, apresentando um comprimento médio que varia, entre 2mm e 6mm nas diferentes espécies (Hoadley, 2000). As **células parenquimatosas** para além de serem minoritárias apresentam um muito menor quociente entre comprimento e largura, limitando-se estas a elementos de circulação transversal (radial) e distribuindo-se de maneira dispersa (Carvalho A. , 1996).

A dimensão dos traqueídeos das resinosas é responsável pelo tipo de textura que apresentam variando o diâmetro médio entre 20 a 60 micrómetros (0,001mm). As madeiras com maiores diâmetros de traqueídeos como a Sequóia (*Redwood*) são descritas como tendo uma textura grosseira. As madeiras com traqueídeos de menores dimensões, como o Cedro vermelho (*Western red Cedar*), são descritas como tendo uma textura fina. A medição das texturas podem ser realizada com o auxílio de uma lente de 10x de aumento e as classificações, segundo Hoadley (2000) podem ser as seguintes: textura fina, média e grosseira, em função do grau de visibilidade dos traqueídeos no plano transversal.

⁶³ O nome científico completo deverá indicar ainda o nome ou abreviatura do botânico que classificou a espécie. Por exemplo *Pinus strobus* L., com o género capitalizado e a espécie em minúsculas indica que foi Lineu (Linnaeus) que a classificou. No contexto de uma discussão sobre um género, as várias espécies podem ser designadas com a ordem apenas na inicial (*P. Strobus*). Nos casos em que não se consegue identificar a espécie de uma madeira, esta designa-se pelo género seguida pela abreviatura sp. (*Pinus sp.*)

⁶⁴ O Teixo é o caso particular de uma conífera que não é resinosa.

Nas coníferas os traqueídeos não vivos são responsáveis pelas funções simultâneas de suporte e condução. No **lenho de início de estação**, o diâmetro dos traqueídeos é maior e as suas paredes são mais finas, adequando-se melhor às funções de condução. No **lenho de final de estação**, o diâmetro é menor e as paredes são mais espessas, adequando-se melhor às funções de suporte que de condução. As diferenças de densidade entre os lenhos de início e final de estação variam de espécie para espécie, podendo ser significativas como acontece no caso do Yellow Pine (*Pinus Spp.*), com diferenças de densidade relativas de 0,9g/cm³ para 0,3g/cm³, ou quase nulas como acontece no caso do White Pine (*Pinus strobus*). Algumas espécies de coníferas têm canais tubulares com células vivas de parênquima que produzem resina. Os **canais de resina** encontram-se em quatro géneros da família Pinaceae: Pinus, Picea, Larix e Pseudotsuga. É nos Pinus que os canais resinosos são mais numerosos podendo ser observados a olho nu (Hoadley, 2000).

A heterogeneidade dos dois tipos de lenho condiciona a forma como as resinosas recebem as pinturas. O lenho de início de estação por ser mais absorvente tende a escurecer mais que o lenho de final de estação, produzindo um contraste inverso do natural. A resina também coloca problemas à aplicação de acabamentos porque no borne a resina presente é normalmente muito fluida, podendo levar anos até solidificar, sendo frequentemente expulsa da madeira só depois dos trabalhos de construção terem sido executados. Para expulsar a resina dos componentes de madeira será necessária uma secagem em estufa com temperaturas acima dos 175°C (Hoadley, 2000).

Nos **anéis de crescimento** das coníferas, em regra, o aumento da largura do anel de crescimento é devido ao aumento do lenho de início de estação (permanecendo a largura do lenho de final de estação constante). Assim, diz-se que uma conífera com anéis de menor dimensão tem mais densidade e maior resistência, embora esta relação não deva ser considerada como fiável uma vez que em algumas investigações já se tem verificado o contrário (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Pode no entanto considerar-se esta relação válida desde que o universo de análise e comparação se circunscreva a um local florestal específico em que as variedades climáticas e edáficas sejam reduzidas (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

Nas coníferas os **raios** lenhosos, onde se encontra a maioria das células de parênquima vivo, ao contrário do que ocorre nas folhosas são compostos normalmente de apenas uma célula. A sua forma apresenta um diâmetro muito reduzido e mesmo em espécies em que os raios têm mais células, estas só são visíveis com auxílio do microscópio. (Hoadley, 2000).

II.A.8 ESPÉCIES FOLHOSAS

Do ponto de vista da cronologia do desenvolvimento dos seres vivos considera-se que as folhosas se desenvolveram posteriormente ao surgimento das coníferas, pelo que apresentam com uma estrutura mais especializada que a das resinosas (Hoadley, 2000). Nas folhosas⁶⁵, há uma maior complexidade anatômico-estrutural, havendo uma especialização funcional que se manifesta na atribuição da função de transporte (circulação e condução de produtos seivosos) aos **vasos lenhosos** (segmentos vasculares) e funções principalmente de suporte às **fibras** (Carvalho A. , 1996). Por outro lado, entre os vasos e as fibras surgem uma série de outros elementos de transição que estabelecem gradações mecânico-fisiológicas:

⁶⁵ "As madeiras do grupo botânico das angiospérmicas podem dividir-se em dois grandes grupos: as monocotiledóneas e as dicotiledóneas. O primeiro é constituído inclui madeiras de baixa resistência como as plameiras e os bambus. As folhosas inserem-se no grupo das dicotiledóneas." (Negrão & Faria, 2009, p. 25).

traqueídos vasculares, traqueídos vasicêntricos e fibro-traqueídos (Carvalho A. , 1996). As folhosas não têm canais de resina, embora algumas folhosas tropicais surjam com **canais de goma** (Hoadley, 2000).

Os **vasos lenhosos**⁶⁶ são elementos de grande comprimento, que se desenvolvem em todo o comprimento da árvore, apresentando-se com paredes muito finas. As suas paredes desaparecem na fase final do seu desenvolvimento formando vasos contínuos ideais para a condução da seiva. A dimensão dos vasos varia tanto entre diferentes espécies como dentro de uma mesma espécie. Alguns são visíveis a olho nu, distinguindo-se das outras células porque têm uma maior dimensão. As **fibras** por contraste são mais reduzidas em diâmetro, com paredes espessas e extremidades fechadas sendo por isso pouco adequadas à condução de seiva (Hoadley, 2000). As fibras, traqueídos, e células de parênquima são de muito reduzido diâmetro e ao contrário dos vasos e dos raios lenhosos não são visíveis a olho nu. Mas pela sua diferença na espessura das células, os conjuntos celulares são distinguíveis. As massas de fibras geralmente manifestam um tom mais escuro e os traqueídos e células de parênquima surgem com tons mais claros (Hoadley, 2000).

O tamanho, número e distribuição dos **vasos** e **fibras** são factores determinantes na aparência e uniformidade da dureza de uma madeira particular. Em algumas madeiras a maioria dos poros concentra-se no lenho de início de estação (Carvalho, Freixo, Ulmeiro, Castanheiro, Catalpa). Estas madeiras são chamadas de porosas-anelares, causando um tipo de grão heterogéneo, produzindo padrões de madeira distintos (Hoadley, 2000). Quando se pintam estas madeiras, a fibra heterogénea torna estes anéis porosos ainda mais pronunciados (Hoadley, 2000). A dimensão dos poros é utilizada como medida de **textura**: por exemplo o Carvalho vermelho tem uma textura grosseira já a *Sweetgum* (*Liquidambar styraciflua*) tem uma textura fina por causa dos seus poros de reduzido diâmetro (Hoadley, 2000).

Nas folhosas de anel poroso, a largura do lenho de início de estação mantém-se relativamente constante pelo que um aumento da largura do anel é consequência de uma maior dimensão do lenho de final de estação. Assim, a madeira será mais resistente e densa quanto maior for a madeira de final de estação. Por exemplo a madeira de Carvalho ou Castanho procedente de zonas Espanholas de clima continental (em que a chegada do frio é abrupta), terá um anel de crescimento mais estreito e com menor densidade. Nas zonas marítimas de clima mais temperado, a mesma espécie apresentará anéis maiores, com texturas e densidades mais elevadas (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

Em algumas madeiras na transição do lenho de borne para o cerne surgem estruturas obstrutivas em forma de bolhas nas cavidades dos vasos. Estas estruturas, visíveis a olho nu em algumas espécies, são chamadas de **tilos** e resultam de disfuncionalidades fisiológicas (Carvalho A. , 1996). Esta característica aumenta a dificuldade de passagem de fluidos pelo que as madeiras afectadas são adequadas para situações em que se exige alguma estanquidade como por exemplo o fabrico de barris. O “White Oak” por exemplo (*Quercus spp.*) é propenso a surgir com tilos, ao contrário do “Red Oak” (*Quercus falcata*) no qual não se encontram tilos (Hoadley, 2000).

Os **raios lenhosos** das folhosas variam muito em dimensão, podendo ter apenas uma célula, como acontece com o Castanheiro ou com o Choupo. Por outro lado, no Carvalho surgem

⁶⁶ Quando um **vaso** é cortado transversalmente a sua abertura é chamada de **poro**. Como todas as folhosas possuem vasos, são chamadas por vezes de porosas (as coníferas em geral são chamadas não porosas) (Hoadley, 2000).

raios de 40 células de largura e centenas de células de comprimento, sendo bem visíveis a olho nu (Hoadley, 2000). A estrutura dos raios em algumas madeiras e no contexto de certos trabalhos pode ser importante para o carpinteiro (para a produção de *shingles* por exemplo). Os raios, constituídos totalmente de células de parênquima representam planos de fraqueza estrutural na madeira. Durante o processo de secagem da madeira, os esforços provocados na sua estrutura interna criam normalmente fissuras no plano dos raios. Sendo assim, embora possam escolher-se estes como zonas naturais para facilitar o corte da madeira, podem também revelar ser um problema quando se pretendem obter superfícies radiais. A presença de raios coincidentes com o plano, produz superfícies com pequenas reentrâncias lineares (Hoadley, 2000) que podem ser vistas como defeitos.

Apesar da distinção das células com função de suporte entre os traqueídeos das resinosas e das fibras nas folhosas, no domínio da construção em madeira, ambos os tipos são genericamente agrupados sob a denominação genérica de “fibras da madeira” (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 7).

II.B Aspectos visuais

A percepção visual que se tem da madeira é um dos aspectos que pode captar mais de imediato o interesse de profissionais do sector da construção de casas de madeira e dos respectivos clientes. Se é verdade que para alguns sistemas construtivos a madeira estrutural fica oculta, noutros sistemas como é o caso dos sistemas de paredes de toros ou dos sistemas porticados, o aspecto visual da madeira assume uma grande importância. Também para os vários tipos de revestimentos no exterior e interior o aspecto da madeira será fundamental.

Um elemento de madeira maciça é sempre único porque a sua estrutura interna e as respectivas propriedades dependem do tipo de árvore e da sua posição no tronco. Por tipo de árvore entende-se não apenas a espécie específica, mas também as características que adquiriu durante o seu crescimento devido à área geográfica e ao lugar exacto onde teve lugar o seu crescimento.

O tipo de corte da madeira determina a aparência ou a “figura” distintiva que surge nas superfícies longitudinais dos componentes. Os componentes de madeira podem ser obtidas em qualquer plano relativamente aos anéis de crescimento. O corte radial (ou em quartos) proporciona uma face com anéis de crescimento dispostos por ordem de desenvolvimento em linhas paralelas. O corte tangencial origina faces com menos anéis de crescimento e mais espaçados, produzindo o designado grão “flat”. O corte desenrolado dá origem a folhas onde praticamente não se vislumbram os anéis de crescimento (Hoadley, 2000, p. 25).

II.B.1 TIPOS DE CORTE NO TRONCO

Pode descrever-se o tronco da madeira através das suas direcções principais: a direcção **axial** (ou longitudinal, acompanhando o eixo de desenvolvimento do tronco em comprimento), a **radial** (a partir da medula para a periferia ao longo de um raio da secção circular do tronco) e a **tangencial** (outra qualquer direcção que não a radial numa secção circular do tronco). Por sua vez, podem considerar-se três planos de corte ao longo do tronco: o **plano transversal** perpendicular ao eixo de desenvolvimento do tronco, o **plano radial** passando pelo eixo de desenvolvimento do tronco e o **plano tangencial** paralelo ao eixo de desenvolvimento do tronco mas exterior a ele.

As diferentes direcções são importantes porque as propriedades da madeira serão diferentes em cada uma das direcções consideradas. Esta característica (anisotropia) é especialmente

importante para a análise das propriedades estruturais da madeira, no entanto estabelece-se normalmente uma simplificação considerando apenas duas direcções: a paralela e a perpendicular às fibras.

II.B.2 GRÃO

O grão da madeira é uma propriedade que caracteriza aspectos visuais da sua superfície, podendo referir-se a diferentes contextos: planos e superfícies; disposição dos anéis de crescimento; espessura dos anéis de crescimento; contraste entre lenho de início de estação e de fim de estação; dimensão relativa dos poros; tipos de figura; defeitos; falhas. Hoadley (2000) considera que o termo grão se refere normalmente à direcção predominante das células longitudinais numa árvore, referindo que se deve utilizar o termo “direcção do grão” quando é este o sentido em que se emprega o termo (Hoadley, 2000).

“(…) o grão exprime a conjugação dos graus de finura e aspereza do material que é função do diâmetro dos poros dos vasos nas folhosas e do diâmetro dos traqueídeos nas resinosas, bem como de outras células como as dos raios lenhosos. Nesta perspectiva, o grão pode ser avaliado mediante a palpação dos planos dos componentes e pela sua visualização oblíqua.” (Carvalho A. , 1997)

Consoante o grão podem classificar-se as madeiras como sendo de grão fino, médio ou grosso (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 14). Na literatura anglo-saxónica esta característica é expressa também pelo termo “texture” (Hoadley, 2000).

II.B.3 POROSIDADE

Embora o conceito de poro esteja associado à secção dos vasos das folhosas, alguns autores referem que a porosidade é a propriedade que avalia o volume de vazios por unidade de volume de madeira seca (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 14). Será uma característica importante para avaliar o comportamento dos acabamentos sobre a madeira. As madeiras porosas (mais leves) e mais secas necessitam de aplicação prévia de produtos tapa-poros para que o acabamento seja uniforme. No entanto a porosidade e a permeabilidade são conceitos diferentes uma vez que apesar de todas as madeiras permeáveis serem porosas, nem toda a madeira porosa é permeável como acontece com o Espruce cujas células se fecham durante o processo de secagem, sendo por isso uma espécie de difícil impregnabilidade (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 14).

A porosidade é também uma propriedade que serve para análise exclusiva da forma como se dispõem os poros que resultam do corte no plano transversal da madeira. A distribuição dos poros pode surgir em anel, difusa ou semi-difusa. Os poros podem ser apreciados também por um valor de densidade característica e por um conjunto de parâmetros que permitem analisar em pormenor as características de cada espécie e peça de madeira (Carvalho A. , 1996).

II.B.4 TEXTURA

A textura permite avaliar num anel de crescimento a relação, expressa em percentagem, entre a largura da zona de lenho de final de estação e a zona total do anel (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). A avaliação completa desta característica é realizada mediante a observação conjugada dos planos transversal e radial. A textura permite avaliar a heterogeneidade do material que se pode reflectir no comportamento mecânico e na aptidão tecnológica para certos processos de transformação (Carvalho A. , 1997).

A textura, que depende em parte do ritmo de crescimento das árvores, surge nas resinosas e nas folhosas de formas diferentes. Nas resinosas, os anéis de maiores dimensões resultantes de um crescimento rápido têm uma percentagem maior de lenho de início de estação, resultando em madeiras menos resistentes. Nas folhosas como o Carvalho e o Freixo, o lenho de início de estação não é muito variável, pelo que a rapidez do crescimento se reflecte

no lenho de final de estação. No caso de folhosas com um crescimento rápido, o resultado é então uma madeira com mais lenho final e por isso com mais densidade, no entanto não se pode retirar daí uma conclusão directa sobre as correspondentes características resistentes (Hoadley, 2000).

II.B.5 FIO DA MADEIRA

O **fio da madeira** é avaliado em função da disposição longitudinal das fibras relativamente a um determinado componente. Esta é uma característica que pode ser importante porque os desvios à direcção longitudinal têm consequências negativas para o comportamento mecânico e para o comportamento decorrente das alterações do teor de humidade. As diversas modalidades do fio incluem fio entrecruzado (ou revesso), o fio ondulado, e o fio espiralado ou torcido característicos de espécies como os Eucaliptos. Enquanto nas folhosas se podem observar com frequência todos os tipos de fio, nas resinosas observa-se para além do fio direito, o fio espiralado e com menos frequência o fio irregular (Carvalho A. , 1997).

II.B.6 VEIO DA MADEIRA

O veio da madeira denomina o conjunto de efeitos visíveis nas superfícies longitudinais de componentes acabados (aplainamento e lixamento), nomeadamente o arranjo e a direcção dos elementos fibrosos (fio), as colorações zonais e os acasos de brilho. A classificação da madeira segundo este critério resulta da observação do fio, do grão, da largura e nitidez das camadas de crescimento. Consideram-se basicamente dois factores de classificação quanto ao veio de madeira: o **desenho** que se relaciona com as camadas de crescimento e a **figura**, resultante das singularidades mais relevantes como o brilho, a cor, as irregularidades pontuais ou zonais do fio, conjugações figurativas singulares, etc. Quanto ao desenho, é necessário distinguir as especificidades conferidas pela orientação do plano de corte: tangencial, radial e diagonal. Estes aspectos quando tipificam certas espécies são importantes para a classificação, mas têm que ser observados em amplas superfícies pelo que têm uma natureza complementar (Carvalho A. , 1997).

II.B.7 COR, BRILHO, CHEIRO

A cor da madeira deve-se principalmente à presença de extractivos, embora os componentes da estrutura celular também possam contribuir para as tonalidades do tecido lenhoso sujeito a oxidação depois do corte. O recurso à cor para identificar as madeiras é apenas um meio adicional, devendo a observação ser efectuada apenas no cerne devido à sua maior estabilidade (Carvalho A. , 1997, p. 20).

O brilho da madeira consiste na capacidade de reflexão da luz e resulta dos processos de infiltração no lenho pelo que o cerne é mais lustroso que o borne. As madeiras classificam-se em lustrosas e baças, sendo este um recurso secundário de observação para a identificação das espécies (Carvalho A. , 1997, p. 20).

O cheiro é uma característica que deve ser observada após o corte da árvore porque se vai atenuando depois da exposição ao ar. Através do cheiro consegue-se por exemplo distinguir o Pinho bravo e o Pinho manso de outros pinhos exóticos cujo cheiro é inexpressivo. As folhosas são mais ou menos inodoras (Carvalho A. , 1997).

II.B.8 CERNE E BORNE

Quando as árvores estão no início do seu desenvolvimento toda a madeira está envolvida na condução de seiva para as folhas, coincidindo a maior actividade nas zonas envolventes do câmbio. Com o crescimento, as zonas centrais do tronco em redor da medula, nomeadamente as células de prosênquima, deixam de assumir essa função de condução e

as células de **parênquima** morrem. Forma-se assim uma distinção entre essa zona desvitalizada e a zona que continua viva, chamando-se **cerne** à primeira e **borne** à segunda. A transição do borne para o cerne é acompanhada pela deposição de elementos chamados extractivos nas paredes celulares (Hoadley, 2000). O tecido de cerne inactivo fica assim escurecido permitindo diferenciar os dois tipos de lenho. Uma vez que o borne de todas as espécies varia entre uma cor branca ou creme até um amarelado ou bronze claro, os elementos extractivos têm quase sempre tendência a escurecer o cerne. No entanto nem todos os extractivos têm cor escura, havendo alguns que são mesmo incolores⁶⁷ (Hoadley, 2000). No caso do Espruce, os extractivos não são pigmentados, não havendo neste caso (como também acontece com a Faia) uma distinção cromática entre cerne e borne (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 10). No caso de madeiras como a Amendoeira e o Cedro Vermelho, a sua cor é o resultado dos extractivos pigmentados (Hoadley, 2000).

A importância dos extractivos na madeira reside na sua capacidade de modificar as propriedades da madeira. Em algumas espécies a sua presença reduz a permeabilidade do tecido lenhoso dificultando ou impossibilitando a sua impregnação com produtos biocidas. Os extractivos são responsáveis também por uma densificação do cerne, tornando-o mais estável em relação às mudanças de humidade. Também devido aos extractivos, o borne enquanto verde pode ter cinco vezes mais humidade que o cerne, sendo sujeito por isso a uma maior retracção. A resistência das espécies aos fungos restringe-se normalmente ao cerne e está relacionada parcialmente também com a presença de extractivos tóxicos (Hoadley, 2000). Em termos práticos, os extractivos podem tornar a madeira tão abrasiva e dura que podem ser responsáveis por danificar as ferramentas de corte (Hoadley, 2000).

O crescimento da árvore e o correspondente aumento de perímetro pela adição de novo borne corresponde a um aumento proporcional de diâmetro do cerne. Há uma relativa consistência na dimensão do borne dentro de uma mesma espécie embora esta possa se alterada pelas condições particulares do contexto. A Catalpa por exemplo tem apenas um ou dois anéis de borne. O Black Tupelo (*Nyssa sylvatica*) por sua vez pode ter entre 80 a 100 anéis de borne. Em troncos de árvores maduras de Eastern Pine (*Pinus strobus*) e Cerejeira com 0,90m ou 1,20m de diâmetro, o borne tem normalmente 3,8cm e 5 cm, mas em espécies como o Choupo, a Bétula e o Bordo (*Maple*) pode ter até cerca de 15,25cm (Hoadley, 2000). A classificação desta característica mede a área de cerne distinto na secção transversal, tipificando-se os valores do seguinte modo: cerne pouco abundante ($\leq 10\%$); cerne medianamente abundante (10-25%); cerne abundante (25-50%); cerne muito abundante (50-75%); cerne excepcionalmente abundante ($>75\%$) (Carvalho A. , 1997).

II.B.9 ESTRUTURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E RAIOS LENHOSOS

Devido à conjugação da disposição das células regradadas segundo as camadas de crescimento com a orientação vertical ou vertical das células individuais, considera-se a estrutura da madeira de um tronco de árvore em termos tridimensionais (Hoadley, 2000) segundo “planos fundamentais de análise anatómica” (Carvalho A. , 1997).

Como referido antes, o **plano transversal** é perpendicular ao eixo do tronco e é aquele que se observa nos topos de um toro ou num cepo. O **plano radial** é o que secciona a árvore segundo um plano que contém a medula da árvore, seccionando todos os anéis de crescimento anuais, revelando informações sobre o crescimento horizontal e ao mesmo tempo a estrutura vertical. Os **planos tangenciais** são paralelos à medula mas não a contêm

⁶⁷ Os extractivos incolores ou poucos pigmentados podem no entanto promover uma maior durabilidade (Hoadley, 2000).

formando sensivelmente uma tangente à estrutura circular dos anéis de crescimento (Hoadley, 2000) (Carvalho A. , 1997). Os planos transversais, radiais e tangenciais são designados também pelas letras X, R e T respectivamente (Hoadley, 2000) (Carvalho A. , 1997, p. 26).

Um componente de madeira pode ser tipificado em função do tipo de serragem, sendo feita a distinção entre o veio longitudinal das superfícies paralelas à medula, e o veio de topo, presente no plano transversal. As peças de madeira em que a face maior é relativamente coincidente com o plano radial resultam de uma serragem radial e apresentam os topos com anéis perpendiculares ao lado maior segundo um grão radial. A serragem radial pode contemplar diversos métodos, mas em geral resulta do corte do toro em quartos (“por fios radiais cruzados”), designando-se em inglês de “*quartersawn*” do qual deriva o termo “*quartergrain*”. As peças de madeira em que a superfície maior é cortada segundo o plano tangencial resultam de uma serragem tangencial e apresentam um grão ou fio tangencial (Hoadley, 2000).

II.B.10 NÓS

O nó é o resultado de um ramo que se desenvolveu a partir da medula do tronco principal. À medida que os ramos crescem desenvolvem-se também anéis de crescimento nos próprios ramos embora com menor espessura que no tronco principal. O nó cria uma forma sensivelmente cônica no interior do tronco. Quando no processo de desenvolvimento da árvore os troncos caem, principalmente os inferiores, os anéis de crescimento rodeiam o coto e ao fim de alguns anos o nó fica completamente absorvido pelo tronco principal. O valor da madeira depende em grande parte da maior ou menor existência de defeitos, sendo os nós um dos defeitos mais imediatamente detectável. Os sistemas de classificação têm em conta, entre outros factores, o número de nós e a sua dimensão por unidade de área.

A compreensão do processo de formação dos nós permite prever o seu desenvolvimento no interior de um componente de madeira. Sabendo que os nós têm origem na medula, a sua observação na face exterior do tronco permite prever a sua continuidade até ao interior. Um nó que na zona inicial pode parecer ter uma reduzida dimensão, pode revelar-se muito grande em direcção ao exterior, podendo ser suficiente para desqualificar um componente de madeira (Hoadley, 2000, p. 34).

Os nós têm uma densidade geralmente maior que a madeira em seu redor e o grão é-lhe relativamente perpendicular. Uma vez que a retracção que ocorre no nó é superior à que ocorre na madeira envolvente, estes têm tendência a soltar-se. Mesmo que este fenómeno não aconteça, a sua presença representa uma descontinuidade que é propícia ao desenvolvimento de fendas radiais. Do ponto de vista estrutural, o nó origina uma orientação do grão diferente e pode em certos casos originar a fractura de uma peça sob a acção de forças ligeiras. Os nós de ramos mortos são considerados defeitos maiores porque ligados a eles ocorre uma maior descoloração e a presença de restos de casca. (Hoadley, 2000).

II.B.11 DEFICIÊNCIAS

Tal como os nós, muitas outras características que decorrem do crescimento natural das árvores, sujeitas a condicionamentos físicos, biológicos e climáticos, são consideradas deficiências no âmbito da construção em madeira. Os principais defeitos são, para além da presença de nós, o lenho juvenil, a madeira de reacção e a orientação anormal das fibras. O problema colocado por componentes de madeira onde estes defeitos ocorrem relaciona-se a alteração das propriedades mecânicas da madeira (USDA Forest Service, 2010).

O lenho juvenil é a madeira produzida em redor da medula, surgindo nos primeiros cinco a vinte anéis (consoante as espécies), com uma largura de anel maior do que o normal e com madeira de menor densidade e menor resistência. O lenho Juvenil tem associadas propriedades de retracção longitudinal anormais, podendo esta ser mais do que 10 vezes superior à da madeira normal, ou seja enquanto a madeira retrai longitudinalmente cerca de 0, a 0,2%, a madeira juvenil retrai cerca de 2% (USDA Forest Service, 2010). Associados ao lenho juvenil surgem com frequência o grão em espiral e o lenho de compressão. As singularidades relacionadas com o lenho juvenil não ocorrem em todas as espécies e encontram-se principalmente em espécies coníferas de plantação (Hoadley, 2000, p. 36).

A madeira de reacção surge em troncos ou ramos que não estão na posição vertical. As árvores arqueadas devido a tempestades, neve, factores topográficos, ou devido à procura de luz, manifestam este tipo de singularidade. A génese do lenho de reacção é diferente consoante se trate de uma conífera ou de uma folhosa. Nas espécies de coníferas, o lenho de reacção chama-se lenho de compressão e forma-se principalmente no lado inferior da secção do tronco inclinado, precisamente a zona mais comprimida pela acção da gravidade. A zona do lenho de compressão tem normalmente os anéis mais largos, sendo a medula deslocada para a zona superior. As maiores desvantagens do lenho de compressão são a diminuição da resistência e o aumento da retracção, nomeadamente a longitudinal, que é cerca de 10 a 20 vezes maior do que o normal. Por outro lado, como a composição desta madeira é muito heterogénea, a retracção é muito diferenciada provocando muitos empenos quando se dão alterações do teor de humidade. Grande parte das distorções que surgem nas paredes dos sistemas de reticulados leves resulta da presença deste tipo de defeito. No lenho de reacção as paredes dos traqueídeos apresentam-se com uma maior espessura, sendo por isso a madeira mais densa, mas como esta contém menos celulose que o normal, torna-se menos resistente. Para usos estruturais não deve ser usada madeira com lenho de reacção porque quando sujeita a flexão e a esforços pode colapsar rapidamente. Em termos práticos, esta madeira é mais difícil de perfurar com pregos e tem tendência a fissurar (Hoadley, 2000).

Nas madeiras folhosas a madeira de reacção forma-se na parte superior da secção do tronco inclinado. Estando o lado superior em tensão devido à acção da gravidade adopta-se o nome de “lenho de tensão”. Nas folhosas há menos a tendência da medula para se descentrar, desenvolvendo-se o lenho de tensão de forma mais regular na secção do tronco, sendo por isso mais difícil de detectar. As fibras do lenho de tensão contêm mais quantidade de celulose, tornando-se a madeira por esse motivo mais resistente que o normal. Em termos práticos esta madeira provoca um tipo de corte com uma superfície rugosa e a sua estrutura celular provoca problemas de acabamento, nomeadamente para a pintura que é absorvida de modo diferencial. Tal como nas madeiras resinosas, também a retracção longitudinal é maior do que o normal, resultando nos correspondentes empenos (Hoadley, 2000).

A orientação divergente das fibras em relação ao eixo de crescimento vertical da árvore conduz a singularidades que podem ter como consequência não só as fibras inclinadas, mas também as fibras em espiral. Estes defeitos afectam a qualidade dos componentes em que o grão inclinado se manifesta, principalmente no que diz respeito à tensão e flexão (Hoadley, 2000).

II.B.12 IDENTIFICAÇÃO DA MADEIRA

A identificação rigorosa das espécies de madeira exige o recurso à análise da sua estrutura microscópica. Segundo Hoadley (2000, p. 47), mesmo as pessoas mais experientes na identificação das espécies através da análise visual erram na sua análise. Muitas espécies

têm características observáveis a olho nu muito semelhantes entre si, conduzindo a erros de análise. É possível no entanto obter conclusões preliminares a partir da análise de alguns aspectos visíveis. Machado, Dias, Cruz, & Custódio (2009, p. 53) referem que de entre as resinosas presentes em estruturas antigas (que apresentam uma estrutura das camadas de crescimento semelhante), é possível identificar diferentes espécies. Assim, o Pinho bravo apresenta um cerne distinto vermelho-claro, um borne esbranquiçado ou branco amarelo e camadas de crescimento muito distintas, de dimensão variável. O *Pitespine* apresenta um cerne castanho avermelhado e castanho alaranjado, o borne branco-amarelo a amarelo pálido, as camadas de crescimento muito bem marcadas, destacando-se a camada de lenho final pela sua coloração carregada. A Casquinha tem um cerne distinto avermelhado-acastanhado, o borne amarelo e as camadas de crescimento bem marcadas sendo o lenho final de contorno e desenvolvimento regular, ocupando em geral 1/3 da camada anual (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 53).

Também entre as folhosas se podem encontrar características distintivas. O Carvalho roble tem cerne distinto castanho-escuro, o borne é amarelado e as camadas de crescimento são distintas, sendo o veio espelhado na secção tangencial devido aos raios lenhosos. O Castanho tem cerne distinto acastanhado, por vezes rosado, o borne é branco amarelado, as camadas de crescimento são distintas com variação brusca entre lenho inicial e final. O Eucalipto tem cerne distinto castanho avermelhado, o borne é amarelo acastanhado e as camadas de crescimento distintas (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 54).

II.C Propriedades da madeira

As dificuldades que se colocam ao conhecimento relacionado com as estruturas de madeira advêm da complexidade das suas propriedades, principalmente: a existência de um grande número de espécies, a heterogeneidade do material, a anisotropia do lenho e o seu comportamento higrométrico. O comportamento das estruturas estará pois dependente das suas propriedades, sendo importante compreender que a utilização correcta de componentes de madeira na construção deve ter em conta todos esses factores. Embora o comportamento óptimo da madeira ocorra quando os esforços são paralelos às fibras e quando as condições de humidade são reduzidas e constantes (Cachim, 2007), não são estas as condições que os Arquitectos e os Engenheiros vão encontrar quando concebem estruturas de madeira. As propriedades da madeira com vista ao seu conhecimento podem assim ser analisadas quanto aos aspectos químicos, físicos e mecânicos.

II.C.1 PROPRIEDADES QUÍMICAS

"A composição química da madeira pode ser comparada com a do betão armado, assumindo os polímeros não ramificados a função de armadura de aço e a lenhina a do betão." (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 7).

Quimicamente as células de madeira são compostas por quatro substâncias (Negrão & Faria, 2009, p. 26): 1) A Celulose ($C_6H_{10}O_5$) constitui entre 40 a 50% da sua composição. É um polímero tridimensional com maior densidade que a água possuindo elevada resistência mecânica, atraindo quimicamente a água, sendo por isso responsável pela higroscopicidade da madeira; 2) A hemicelulose constitui entre 20 a 30% da composição química da madeira. É um polímero tridimensional amorfo que faz parte de uma matriz que aglutina a celulose garantindo a função de união entre as fibras (Negrão & Faria, 2009, p. 26); 3) A lenhina constitui entre 20 a 30%⁶⁸ da composição química da madeira. É um polímero tridimensional amorfo que faz parte de uma matriz que agrupa a celulose, contribuindo para a integridade

⁶⁸ Outras fontes referem 15 a 35% (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013)

estrutural das fibras, e também para a rigidez e resistência da madeira à compressão e ao corte (Negrão & Faria, 2009, p. 26); 4) Outras substâncias constituem entre 5% a 7% da sua composição química, conferindo características distintas à madeira do cerne, como acontece com os taninos, os trementinos e as ceras nas resinosas (Negrão & Faria, 2009, p. 26).

II.C.2 PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas da madeira são aquelas que determinam o seu comportamento perante factores que intervêm no seu meio ambiente usual, sem que este actue química nem mecanicamente na sua estrutura (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Apesar da diferença entre folhosas e resinosas, em todas as espécies de madeira encontra-se uma semelhança nas disposições relativas dos elementos celulares. A maior parte destes dispõem-se com a maior dimensão alinhada com a direcção longitudinal do tronco, encontrando-se uma minoria (5 a 10% do volume) orientada na direcção radial. (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 7). Os factores que afectam as propriedades físicas da madeira são principalmente a higroscopicidade, a massa volúmica e a retractibilidade.

II.C.2.a Teor em água e higroscopicidade

O teor de água ou humidade da madeira H é definido pelo valor do peso da água contida na madeira em relação ao seu peso em seco após secagem em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Cruz & Nunes, A madeira, 2005) (ou seja, quando já não há humidade nas fibras celulares nem nas cavidades celulares).

$$H (\%) = \frac{m_h - m_s}{m_s} \cdot 100$$

H - Humidade da madeira em percentagem; m_h - Massa da madeira húmida; m_s - Massa da madeira seca.

Este método de determinação da humidade na madeira é regulado pela norma EN 13183-1. No entanto podem ser feitas medições da humidade de peças de madeira utilizando equipamentos de medida como xilo-higrómetros, também regulados por normas. O valor do teor de água de referência a nível internacional para o qual são determinadas as características da madeira (como por exemplo o valor da densidade das diferentes espécies) e efectuados os respectivos ensaios é $H=12\%$.

A água existe na madeira sob as formas de **água de impregnação**⁶⁹ e da **água livre**. Os vazios celulares e intercelulares são preenchidos com água livre durante a vida da árvore, iniciando-se o processo de secagem após o seu abate. A água livre altera os valores da massa da madeira, mas não altera de forma sensível as suas propriedades físicas e mecânicas (Negrão & Faria, 2009), mantendo-se o seu volume constante. Ao teor de água correspondente à ausência de água livre chama-se **ponto de saturação das fibras**, situando-se em geral entre os 25% e os 35%⁷⁰ e em média nos 30% (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 19) para a maioria das espécies. É abaixo deste valor que as a perdas de água de impregnação das paredes celulares podem conduzir a alterações significativas na madeira em termos de **retracção** e **inchamento** conduzindo eventualmente às consequentes distorções e empenos (Cachim, 2007).

⁶⁹ Designada por Carvalho (Carvalho A. , 1996) como "água de saturação" e por Cachim (2007) como "água retida ou de saturação"

⁷⁰ Os valores variam segundo as fontes. Em "Woodframe envelopes in the coastal climate of British Columbia" refere-se 28% (CMHC, 2001)

As alterações geométricas que ocorrem com o processo de secagem abaixo do ponto de saturação das fibras dependem da espécie de madeira e do eixo de referência que se está a considerar. Como regra geral, a retracção transversal pode ser considerada cerca de 2 vezes superior à radial e cerca de 20 vezes superior à longitudinal que é normalmente inferior a 1% e por isso não é tida como relevante (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 11). A diferença entre as retracções tangencial e radial é o principal factor de deformação geométrica da madeira durante os processos de humedificação e secagem (Cachim, 2007). Por outro lado, os empenos e as fendas que se registam decorrem da conjugação da anisotropia do material com as tensões de secagem (*"diferencial entre a taxa de evaporação à superfície e a taxa de circulação de água no interior do elemento"*) (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 11). Assim, para serem evitadas alterações volumétricas e outras anomalias a madeira a aplicar numa obra deve ter um teor de água correspondente às condições higrotérmicas de serviço (Negrão & Faria, 2009).

A madeira recém-cortada, denominada por madeira verde contém geralmente teores de água superiores a 100% que se reduzem a cerca de 14% a 16% (Cruz & Nunes, A madeira, 2005) ou 16% a 18% quando seca ao ar (Cachim, 2007) (cf. Tabela 1). A secagem da madeira corresponde a uma variação do teor de humidade causada pelas flutuações da temperatura e da humidade relativa do ar ambiente conjugadas com os fenómenos de absorção e dessorção de água que ocorrem continuamente na madeira. O **teor de água de equilíbrio** é aquele em que esses fenómenos ocorrem à mesma taxa (Cruz & Nunes, A madeira, 2005). Porque a estrutura da parede celular é semelhante entre as diferentes espécies, admite-se em geral que o teor de água de equilíbrio é semelhante em todas elas. O valor da humidade de equilíbrio será no entanto variável em função dos contextos. Nos Estados Unidos da América, no Verão, a humidade de equilíbrio nos espaços interiores varia de 6% no Sudoeste a 11% no sul e no estados do Litoral Este, chegando a descer aos 4 por cento no Inverno nos estados do Norte (Wing, 2009).

Embora não tenham relevo, na maior parte dos casos, há outros factores que podem fazer variar o valor do teor de água de equilíbrio: a localização da madeira na peça (cerne ou borne); os componentes da parede celular e os extractivos presentes; a presença de anomalias de crescimento (lenho de reacção); a história prévia do material; as solicitações a que a madeira está sujeita (tracção ou compressão); e os tratamentos químicos a que a madeira tenha sido submetida (biocidas e ignífugos) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 18).

A perda de água de impregnação que preenche as paredes celulares vai ser não só responsável pelas alterações volumétricas da madeira, mas também pelas alterações nas suas propriedades físicas e mecânicas. (Negrão & Faria, 2009). A madeira verde é mais elástica e menos resistente, pelo que o conteúdo de humidade deve ser tido em conta quando se classifica a madeira e quando ela é aplicada em locais com humidade ambiente variável. Quando a classificação da madeira, para uso estrutural, é efectuada, por exemplo com um teor de água acima dos 25%-30%, obtém-se uma classe que, na sequência do processo de secagem, pode e deve ser alterada devido a deformações e fendas que previsivelmente podem ocorrer. No limite, também se pode considerar que abaixo de 6%, a perda de água será responsável por um processo de deterioração física e química (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 15), embora este seja um valor que raramente é atingido.

Tabela 1 - Classificação da madeira de acordo com o teor de água (Cachim, 2007).

Classe	Teor de água	Observações
Madeira verde	> psf	Madeira de corte recente
Madeira semi-seca	23% - psf ⁷¹	Madeira serrada em verde ou muito exposta
Madeira seca	18% - 23%	Construções não cobertas ou cobertas mas muito expostas
Madeira seca ao ar	13% - 18% ⁷²	Construções não cobertas ou cobertas mas muito expostas
Madeira dessecada	0% - 13%)	Interiores e ambientes aquecidos
Madeira completamente seca	0%	Madeira em estufa ventilada a 103°C

Segundo Machado, Dias, Cruz, & Custódio (2009, p. 11) as anomalias que ocorrem em obras recentes relacionam-se principalmente com erros relacionados com o desconhecimento da higroscopicidade da madeira. A concepção e aplicação da madeira em obra deve contemplar juntas de dilatação e ligações que tenham em conta os fenómenos previsíveis de inchamento e de retracção (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

II.C.2.b Massa volúmica

A **massa volúmica** da madeira, na sua relação com a resistência e com o módulo de elasticidade, é uma das características que favorece a madeira em relação a outros materiais que para as mesmas características estruturais são mais pesados. A **massa volúmica aparente** (ρ_w) é uma medida de peso por unidade de volume “aparente” (g/cm³). O volume considerado é “aparente” porque inclui os poros variando a sua grandeza em função do teor de água existente na madeira. A massa volúmica da madeira está relacionada com a sua resistência mecânica mas, segundo Negrão & Faria (2009, p. 28) não é possível estabelecer uma relação directa entre os dois parâmetros, aplicável a todas as espécies. Constata-se no entanto que nas resinosas as madeiras com anéis de crescimento de maior dimensão, que são indício de um mais rápido crescimento, são mais leves que as madeiras com anéis de menor dimensão. Nas espécies folhosas acontece o contrário, ou seja, as madeiras de anéis de maior dimensão são mais pesadas.

Segundo Hoadley (Hoadley, 2000) a **densidade** (peso por unidade de volume) é um dos indicadores mais importantes da resistência de uma dada madeira, permitindo prever características como a dureza, a facilidade de transformação, e a resistência à pregagem. As madeiras mais densas, em geral retraem e incham mais e normalmente apresentam mais problemas na secagem. A comparação entre diferentes espécies pode ser realizada comparando a massa volúmica baseada em amostras com 12% de humidade e secas em estufa (Hoadley, 2000). Para 12% de teor de água, a massa volúmica da madeira pode variar por exemplo entre os 100 Kg/m³ e os 1300 Kg/m³ (são os casos da Balsa e do *Lignum vitae*, respectivamente). Normalmente as madeiras utilizadas para fins estruturais têm uma massa volúmica que varia entre 350Kg/m³ e 1080 Kg/m³ (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 15).

II.C.2.c Retractibilidade

Quando a madeira alterna o teor de água entre o estado saturado (ponto de saturação das fibras) e o estado anidro (completamente seca) de forma a manter o equilíbrio higroscópico com o meio, liberta a água dos vazios das suas paredes celulares, resultando na alteração das suas dimensões (Negrão & Faria, 2009). A **retractibilidade volumétrica** traduz a variação dessas dimensões em relação a um determinado teor de água. Este é um valor que surge em percentagem, manifestando a variação de volume que se dá na passagem do estado verde ao estado anidro. Dependendo das espécies, a contracção total varia de 5% a

⁷¹ 30% em média (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013)

⁷² Outras fontes indicam o valor de 16% e 18% para a secagem ao ar livre (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013)

25%. Podem assim encontrar-se madeiras pouco retrácteis, como a Criadoméria ou o Teixo (cerca de 8% a 9%) ou muito retrácteis como o Carvalho e o Eucalipto (18% a 24%). A retractibilidade volumétrica pode ser quantificada, dividindo o coeficiente de retracção volumétrica pelo valor de referência de 12% de teor de água da madeira (Negrão & Faria, 2009).

A **retractibilidade linear** tem em conta a variação dimensional nas três direcções espaciais: radial, tangencial e axial. Em geral a retracção linear total na direcção axial é de 0,1% a 0,2%, a retracção linear total na direcção radial é de 2% a 8% e a retracção linear total na direcção tangencial será aproximadamente o dobro da anterior, ou seja de 4% a 8% (Negrão & Faria, 2009). A retractibilidade linear axial é insignificante, sendo a soma da retracção radial e tangencial totais, aproximadamente igual ao valor da retracção volumétrica total. (Negrão & Faria, 2009).

II.C.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

"O estudo do comportamento mecânico da madeira implica o conhecimento da sua estrutura anatómica, dada a natureza orgânica, higroscópica, anisotrópica e heterogénea que a caracteriza." (Negrão & Faria, 2009, p. 31)

A resistência mecânica de um elemento estrutural de madeira não é uma grandeza que lhe possa ser atribuída sem haver uma referência ao seu comportamento perante um tipo de solicitação específica (grandeza, duração e direcção). A direcção das solicitações é importante porque há diferenças muito significativas nos valores de resistência consoante a direcção considerada é a paralela ou a perpendicular às fibras da madeira. Para o Pinho bravo a resistência à tracção, no sentido paralelo às fibras, é cerca de 50 vezes superior à mesma resistência no sentido perpendicular (Negrão & Faria, 2009).

O desenvolvimento das árvores revela uma adaptação às solicitações a que são sujeitas durante a o seu crescimento, nomeadamente a acção do vento que implica esforços de flexão, e o peso próprio, nomeadamente o da copa que implica esforços de compressão (Negrão & Faria, 2009). Também a duração das acções é variável: de longa duração (peso próprio), de curta duração (neve), e instantâneas (vento), contribuindo para a elevada variabilidade de propriedades físicas e mecânicas que se reconhecem à madeira (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009).

Do ponto de vista da resistência mecânica, as propriedades da madeira podem ser resumidas nas seguintes características (Cachim, 2007): elevada resistência à flexão, sobretudo quando associada ao seu peso⁷³; boa resistência à tracção e à compressão paralela à fibra; fraca resistência ao corte; muito fraca resistência à tracção e compressão perpendicular à fibra (especialmente à tracção); baixo módulo de elasticidade (cerca de 1/2 menor que o betão e 20 vezes menor que o aço). O inconveniente desta característica prende-se sobretudo com a deformação de elementos comprimidos e a possibilidade de encurvar.

Para além da anisotropia, a madeira apresenta uma enorme variabilidade. Sendo um produto natural adapta-se às condições naturais de cada região. Não só existem cerca de 16.000 espécies diferentes de árvores, como se assiste a uma grande variabilidade das características de cada árvore dentro de cada espécie (singularidades e defeitos). Para além das propriedades biológicas (espécie botânica), outros factores como o tipo de solo (natureza e presença de água), o clima (humidade e temperatura), a orientação e o relevo influenciam

⁷³ Comparando as propriedades mecânicas da madeira e as do aço em relação ao seu peso observa-se que a madeira, livre de defeitos, com o mesmo peso do aço é 1,6 vezes mais resistente. No entanto, para madeira classificada com algum tipo de anomalia, o comportamento de ambos os materiais é muito similar (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 30).

as propriedades da madeira. Como exemplo da influência do contexto podem referir-se as características do Pinho bravo da zona de Leiria e o da zona de Viana do Castelo, que devido fundamentalmente à menor pluviosidade na região centro do que na região norte apresentam diferenças notáveis no que se refere por exemplo à densidade e resistência (o Pinho de Leiria apresenta em geral densidades e resistências superiores). No entanto, a grande variabilidade das propriedades da madeira justifica que a regulamentação para dimensionamento de estruturas de madeira considere classes de resistência de elementos de madeira em vez de características de resistência de espécies de uma dada região. Assim, numa mesma árvore podem ser extraídos componentes pertencentes a várias classes de resistência (Cachim, 2007).

Relativamente aos defeitos da madeira, os mais importantes do ponto de vista do comportamento físico-mecânico são os nós e a inclinação das fibras. O teor em água da madeira, para determinados intervalos, tem grande influência na resistência mecânica, apresentando valores máximos quando a madeira está seca e mínimos quando se encontra saturada. Acima do ponto de saturação (30%), verifica-se que a resistência se mantém praticamente constante. Quanto à temperatura, só para valores extremos, que não ocorrem em serviço, são alterados os valores da resistência (Negrão & Faria, 2009).

Comparando a madeira limpa de defeitos com a madeira utilizada em estruturas, verifica-se uma diminuição da resistência à tracção paralela às fibras de cerca de 100 N/mm² para cerca de 10 N/mm² e uma diminuição da sua resistência à flexão de cerca de 90 N/mm² para cerca de 18 N/mm² (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 13). Para além da qualidade da madeira, o comportamento mecânico dos seus componentes será afectado pelos seguintes factores: as condições ambientais (humidade e temperatura); o tempo de aplicação das cargas (cargas de curta duração e cargas permanentes); e a dimensão do elemento estrutural (o efeito de escala determina que quanto maior é a peça, menor é a tensão de rotura) (Cachim, 2007).

II.C.3.a Dureza

Dureza é a resistência que um material opõe à penetração de um corpo estranho sob a acção de uma pressão ou choque, mas também à riscagem e desgaste (Negrão & Faria, 2009). É uma propriedade especialmente útil para os elementos de acabamento, podendo ser também indicadora das características físicas da madeira. A relativa rjeza ou brandura da madeira depende fundamentalmente da quantidade de vazios celulares presentes, assumindo assim uma estreita relação com a densidade (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 20) (Carvalho A. , 1997).

A dureza variará segundo o plano de corte considerado, embora na prática, a dureza da madeira se refira à resistência à penetração de ferramentas na perpendicular às fibras e não no sentido paralelo (nos topos). Assim, a dureza é determinada em relação à secção radial, sendo as madeiras normalmente classificadas em termos de dureza como brandas, medianamente duras e duras (Negrão & Faria, 2009). Os valores específicos da dureza das madeiras podem referir-se a diferentes métodos de medição, (todos eles determinados sobre a secção radial): Chalais-Meudon, Brinell e Janka (que é aquele que tem mais tendência a ser utilizado) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 23).

II.C.3.b Resistência à tracção paralela às fibras

A resistência à tracção no sentido paralelo às fibras é elevada relativamente à resistência a outros esforços. Segundo Sardinha, citado por Negrão & Faria (2009) a resistência à tracção

axial pode ser até três vezes superior à compressão axial. A elevada resistência apresentada neste sentido e direcção justifica-se por um lado porque o esforço de tracção axial aproxima as fibras, aumentando a sua coesão, por outro porque a resistência das cadeias de celulose é muito elevada. Os valores característicos da resistência em madeira classificada de coníferas variam entre 8MPa e 30MPa N/m² (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 23).

II.C.3.c Resistência à compressão paralela às fibras

A resistência à compressão paralela às fibras apesar de elevada é inferior à resistência à tracção. Para o Pinho bravo, por exemplo, o seu valor é inferior em 40% em relação à segunda. A compressão provoca o afastamento das fibras, diminuindo a coesão estrutural e a sua resistência global. A resistência à compressão axial varia com o teor em água e com a massa volúmica. O valor máximo de resistência à compressão atinge-se com a madeira no estado anidro e é mínimo quando o teor de água é superior ao ponto de saturação das fibras ($H > 30\%$). A resistência à compressão axial terá um valor mais elevado quando a massa volúmica for maior. Os defeitos têm pouca influência na resistência à compressão (Negrão & Faria, 2009).

A resistência à compressão é um valor importante na definição de pilares e montantes. Na rotura da madeira solicitada à compressão o que se produz na prática é um esmagamento das fibras, podendo o material continuar a resistir a solicitações. As situações de insegurança em elementos sujeitos à compressão têm a ver mais com a perda de verticalidade (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 24). O cálculo dos elementos à compressão inclui por isso a comprovação do módulo de elasticidade. Uma vez que o valor do módulo de elasticidade é relativamente baixo, as peças esbeltas têm uma resistência à compressão reduzida. Os valores característicos da resistência à compressão paralela em madeira classificada de coníferas situam-se entre os 16MPa e os 29MPa.

II.C.3.d Resistência à flexão estática

A resistência à flexão estática é muito elevada, principalmente considerando a relação com a sua densidade, aproximando-se dos valores da resistência à tracção paralela às fibras. Para o Pinho bravo, a tensão de rotura à flexão estática é cerca de 140MPa. O teor de água e a massa volúmica têm um efeito semelhante àquele que produzem na resistência à tracção axial. O módulo de elasticidade à flexão estática na direcção do fio tem um valor relativamente baixo (Negrão & Faria, 2009). Os valores característicos da resistência à flexão em madeira classificada de coníferas variam entre 14MPa e 50MPa. A influência da humidade não é neste caso tão importantes quanto o é relativamente à compressão. Esta propriedade, juntamente com o módulo de elasticidade longitudinal e a densidade, forma parte do conjunto de propriedades que são de obrigatório ensaio para estabelecer as classes de resistência segundo a norma EN 338 (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 24). Uma vez que a maior parte dos componentes é submetida a esforços de flexão, esta será a propriedade mais importante da madeira.

A atribuição de classes de resistência assume os valores característicos da resistência à flexão como referenciais. Um componente submetido a um esforço de flexão na realidade sofre esforços de compressão e tracção e como a resistência da madeira à compressão é cerca de duas a duas vezes e meia inferior à resistência à tracção, o limite da primeira é atingido primeiro, deslocando-se o eixo neutro progressivamente para baixo até ocorrer a rotura por tracção (Cachim, 2007).

II.C.3.e Resistência à tracção perpendicular às fibras

A resistência à tracção na perpendicular às fibras atinge valores muito baixos. Para o Pinho bravo o valor da tensão de rotura é cerca de 3,0MPa, sendo o mesmo valor na direcção longitudinal cerca de 50 vezes superior. A resistência à tracção normal não se relaciona com a massa volúmica porque esta não condiciona a aderência das fibras. As fibras de celulose orientam-se preferencialmente no sentido longitudinal, sendo muito escassas no sentido transversal e apresentando nessa direcção uma maior fragilidade nas ligações intercelulares (Negrão & Faria, 2009). Os valores característicos desta propriedade em madeira classificada de coníferas variam entre 0,4MPa e 0,6MPa (30 a 100 vezes inferior à resistência à tracção paralela) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 23).

A deficiente resistência à tracção transversal às fibras é uma característica crítica da madeira que se manifesta por vezes através de fendas longitudinais em elementos de directriz curva, bem como em uniões e apoios em que esta solicitação esteja presente (por exemplo uniões aparafusadas alinhadas, submetidas a variações fortes de humidade). Estes efeitos surgem normalmente associados a erros de desenho (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 23).

II.C.3.f Resistência à compressão perpendicular às fibras

A resistência à compressão no sentido perpendicular às fibras pode ser traduzida pela sua resistência ao esmagamento, sendo o seu valor muito inferior à resistência no sentido paralelo às fibras, entre 20% a 25% (Negrão & Faria, 2009), variando também em função da massa volúmica do material. Os valores característicos da resistência à compressão paralela em madeira classificada de coníferas situam-se entre os 2MPa e 3,2MPa (8 vezes inferior à resistência à compressão paralela) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 24).

II.C.3.g Resistência ao corte ou escorregamento

A resistência ao corte ou escorregamento pode ser quantificada pela acção de três tipos de tensões, em função da orientação das fibras da madeira: tensões tangenciais normais às fibras, tensões tangenciais paralelas às fibras e tensões tangenciais obliquas às fibras. No caso de tensões tangenciais paralelas às fibras a resistência dos elementos de madeira é mínima. A avaliação da resistência ao corte é assim realizada para esta situação por ser o cenário mais desfavorável. Os defeitos como fendas e fissuras influenciam bastante a resistência ao corte (Negrão & Faria, 2009).

De forma restrita a resistência ao corte refere-se a esforços na direcção perpendicular às fibras. O esforço cortante na madeira não se refere ao cortante puro que numa viga se gera perto das zonas dos apoios e que produz roturas na direcção perpendicular às fibras. Na madeira é importante o cortante por deslizamento das fibras como consequência da elevada deformabilidade da madeira em flexão que gera esforços longitudinais produzindo roturas também longitudinais, normalmente na fibra neutra do elemento estrutural. Os valores característicos da resistência ao corte das coníferas varia entre 1,7MPa e 3,8MPa (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 25).

II.C.3.h Resistência à fadiga

A resistência à fadiga ou a cargas alternadas é a capacidade que um elemento estrutural tem em se deformar sem entrar em rotura quando sujeito a esforços alternados de compressão e tracção. O teor de água tem grande influência no valor da resistência à fadiga, ou seja, para cada diminuição de 1% do seu valor, obtém-se uma redução de cerca de 3% a 4% do valor de resistência à fadiga.

II.C.3.i Fluência

A fluência ou resistência a cargas de longa duração corresponde à deformação ou perda de resistência de um elemento quando sujeito a cargas superiores ao limite de elasticidade do material com algum grau de permanência. Assim, a madeira passa a deformar-se em regime plástico, atingindo a rotura para valores de tensão mais baixos (em cerca de 60%) que os indicados por ensaios de cargas de curta duração (5 ± 2 minutos). O teor de água tem grande influência no valor da fluência da madeira, sendo o valor da fluência superior para madeiras com maiores teores de água (Negrão & Faria, 2009).

A prevenção do impacto da fluência ou a sua redução na resistência global de estruturas exige as seguintes medidas: que se evitem variações térmicas e higrométricas; que os elementos estruturais sejam montados com teores de água estabilizados; e que se sobrestimem as cargas actuantes ou se subestime o valor do módulo de elasticidade para impedir que a madeira entre em regime plástico; que se recorra a contra flechas (Negrão & Faria, 2009).

Sabe-se que para cargas permanentes (mais de 50 anos) a resistência residual se situa entre os 50 e 60% da resistência inicial (obtida em ensaio de curta duração, ou seja de 5 minutos) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 51). A duração da carga influencia significativamente a resistência da madeira de maneira que quanto maior for a duração, menor será a sua resistência. O Eurocódigo 5 estabelece cinco classes de duração de carga: permanentes (mais de 10 anos); longa duração (de 6 a 10 anos); média duração (de 1 semana a 6 meses); curta duração (menos de 1 semana); e instantânea (minutos) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 51).

II.C.3.j Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é a variável mais importante para a análise do campo elástico em que as estruturas em serviço se devem situar. O módulo de elasticidade na direcção paralela às fibras adopta na madeira valores diferentes em função das solicitações serem de compressão, tracção ou de corte. Na prática, utiliza-se um único módulo para descrever o comportamento elástico da madeira que é o módulo de elasticidade em flexão paralela à fibra. O valor médio do módulo de elasticidade à flexão para madeiras classificadas de coníferas varia entre 7GPa e 16GPa, dependendo da qualidade da madeira (Negrão & Faria, 2009).

II.D Durabilidade da madeira

No caso das estruturas de madeira, a interacção com materiais que possuam humidade é particularmente crítica devido à grande afinidade da madeira com a água. As patologias que ocorrem nas estruturas de madeira são fundamentalmente causadas pela má concepção arquitectónica e estrutural. A deficiente protecção dos revestimentos e dos elementos estruturais, a escolha inadequada das madeiras, a inadequação ou ausência do seu tratamento e a ausência de manutenção conduzem à redução da durabilidade. Com excepção dos casos em que as patologias se devem a causas estruturais (ausência ou deficiência de cálculo), nas restantes situações o problema principal das estruturas de madeira encontra-se directamente relacionado com a presença de humidade. Assim é por isso necessário um cuidado especial para evitar as condensações e o seu contacto com a água, visto que conforme anteriormente se referiu, os ambientes húmidos são propícios ao desenvolvimento de ataques biológicos. A melhor maneira de prevenir a degradação da madeira será mantê-la seca (CMHC, 2001) e protegida dos agentes atmosféricos agressivos.

II.D.1 BIODEGRADAÇÃO

II.D.1.a Fungos

A madeira se mantida em condições favoráveis tem uma durabilidade aparentemente ilimitada. Mas como as condições favoráveis não são aquelas que se verificam na natureza, a madeira por ser biodegradável deteriora-se quando sofre a acção de diversos agentes vivos (insectos e xilófagos marinhos). Entre esses agentes, o ataque da madeira por fungos é aquele que provoca um maior grau de degradação (Hoadley, 2000), ocorrendo normalmente em regiões com climas temperados e tropicais. Os fungos são formas básicas de plantas, incapazes de produzir o seu próprio alimento tal como o fazem as plantas verdes, obtendo por isso a sua alimentação de um anfitrião. O seu desenvolvimento depende de condições favoráveis em termos humidade e temperatura, pelo que nos climas frios o risco de degradação da madeira por este tipo de agentes diminui, embora não seja totalmente eliminado. O processo inicial de infecção pode começar logo depois do corte das árvores com a instalação de esporos na madeira, que sob condições favoráveis germinam dando-se depois a colonização por bactérias e finalmente por bolores e fungos cromogéneos. Numa fase seguinte, ocorre a degradação das paredes celulares da madeira devido à colonização por fungos que consomem lenhina e celulose. Podem ainda surgir posteriormente outros bolores secundários que consomem os produtos da degradação efectuada (Nunes, 2013).

Podem distinguir-se dois tipos de fungos quanto ao resultado da sua acção: os que alteram apenas o seu aspecto visual e os que a destroem afectando as suas propriedades físicas e mecânicas. No primeiro grupo incluem-se os **fungos cromogéneos** e os **bolores** que geralmente não afectam as paredes celulares da madeira e consequentemente não alteram a sua resistência. Os bolores vivem principalmente na superfície da madeira, enquanto os fungos cromogéneos invadem a estrutura celular da madeira. Ambos vivem de carbo-hidratos armazenados no parênquima das células afectando essencialmente o borne, produzindo normalmente uma coloraçãozulada, sem causarem estragos na estrutura celular da madeira (Hoadley, 2000). No entanto para além de afectarem o aspecto visual, criam condições para o desenvolvimento de fungos de podridão.

Os **fungos de podridão** desenvolvem-se através de esporos presentes na atmosfera que em contacto com a madeira, em condições favoráveis, germinam desenvolvendo hifas (pequenos filamentos) que penetram no interior do lenho, absorvendo nutrientes e dissolvendo as paredes celulares por acção enzimática. As hifas desenvolvem-se formando uma massa ramificada chamada micélio que se produz em geral num intervalo de temperaturas entre os 20°C e os 30°C⁷⁴. Os valores óptimos de humidade para o desenvolvimento de fungos de podridão são próximos do ponto de saturação das fibras (cerca de 26% de humidade), bastando em geral valores de humidade superiores a 22% (Nunes, 2013). As fases iniciais de infestação, chamada de “podridão incipiente” caracteriza-se principalmente pela descoloração da madeira, não sendo afectada a sua resistência. Quando a proliferação de fungos culmina numa podridão avançada a descoloração é acompanhada por uma perda irreversível de resistência.

Os resultados da podridão da madeira dependem do tipo de espécies de fungos envolvidos. A **podridão castanha ou cúbica** ataca principalmente a celulose deixando um pó castanho de lenhina modificada como resíduo, ficando a madeira frequentemente com um aspecto de madeira carbonizada, ou seja com um padrão de fendilhação em quadrícula (Hoadley, 2000).

⁷⁴ Cachim refere temperaturas entre os 18 e os 26°C (Cachim, 2007), outras fontes referem 18° e os 35°C (CMHC, 2001).

A “podridão castanha ou cúbica” tem como fungo mais comum o designado fungo de podridão seca (*Serpula lacymans*), que necessita de um teor de humidade na madeira apenas superior a cerca de 22%, sendo capaz de transportar humidade para as zonas infestadas. O seu tratamento requer tanto a remoção da madeira afectada como os materiais contíguos (Nunes, 2007) (Hoadley, 2000).

As **podridões brancas ou fibrosas** consomem tanto a lenhina como a celulose deixando um resíduo branco, concentrando-se certos fungos em zonas localizadas ou bolsas. A podridão fibrosa ou branca confere um aspecto fibroso à madeira e uma cor esbranquiçada. Embora a podridão seja um defeito, certos fungos, segundo Hoadley (2000), valorizam “decorativamente” a madeira em determinadas aplicações não estruturais, especialmente quando as bolsas são uniformes. Estes fungos necessitam de teores de água superiores a 40% para se desenvolverem. Como não produzem rizomorfos (aglomerados de aparência linear de hifas com a possibilidade de transportar nutrientes) o seu ataque é mais localizado (Nunes, 2007).

A **podridão mole** degrada a celulose, principalmente na camada média da parede secundária das fibras lenhosas, originando uma consistência macia. Os fungos responsáveis necessitam de teores de humidade superiores a 50% e de sais minerais (Nunes, 2007).

O combate aos fungos passa por controlar as condições favoráveis ao seu desenvolvimento: a temperatura entre os 24°C e os 32°C, a existência de oxigénio (20% de ar na madeira), a humidade superior a 20% (Hoadley, 2000) ou 22% (Cruz & Nunes, A madeira, 2005) e os carbo-hidratos armazenados nas células de parênquima. Dessas condições, apenas as duas últimas condições podem ser efectivamente controladas. As temperaturas inferiores a 4,5°C⁷⁵ e superiores a 40,5°C interrompem o desenvolvimento dos fungos, mas para os seres humanos esses limiares estão fora dos parâmetros de conforto, podendo-se utilizar apenas pontualmente a refrigeração de componentes isolados para parar a disseminação⁷⁶. A madeira mergulhada em água anula a presença de oxigénio, ou a madeira com um alto teor de humidade podem também controlar o desenvolvimento, mas normalmente a madeira estrutural é usada seca. É precisamente através do uso de madeira seca com um teor de humidade abaixo dos 20%, e através da criação de condições para a manutenção desse estado, que se tem combatido mais eficazmente os fungos. Também se recorre à utilização de madeira do cerne⁷⁷ de certas espécies, que pode ser naturalmente durável se os extractivos forem tóxicos ou repelentes. Em alternativa a madeira pode ser impregnada com preservativos químicos (Hoadley, 2000). Qualquer um destes processos de controlo, se utilizado num componente já afectado por fungos, apenas contribui para a sua dormência s uma vez que quando se restauram as condições favoráveis o seu desenvolvimento reinicia-se.

⁷⁵ No Canadá por exemplo, é nas zonas costeiras de British Columbia com um Inverno de temperatura não tão baixa como no resto do país que a preocupação com o desenvolvimento de fungos, devido à presença de humidade, se faz sentir (CMHC, 2001).

⁷⁶ Em temperaturas baixas os fungos ficam inactivos, podendo florescer de novo com o aumento das temperaturas se a madeira já estava previamente infectada.

⁷⁷ O cerne de algumas espécies de madeira tais como o Cedro Vermelho (Western Red Cedar - utilizado principalmente para revestimentos como as *shingles*) e o Cedro Amarelo (Pacific Coast Yellow Cedar) contém químicos naturais (extractivos) que inibem o crescimento de fungos. O bome de todas as espécies é considerado não durável, não podendo por esse motivo ser utilizado em condições de elevada humidade (CMHC, 2001).

II.D.1.b Insectos

Há diferentes insectos xilófagos que deterioram a madeira, nas árvores, nos troncos serrados, nas peças de madeira serrada e nos produtos acabados (Hoadley, 2000). Os furos de vários diâmetros que se encontram em algumas peças são causados por **carunchos** que atacam a madeira em processo de secagem ao ar livre, podendo atacar também a madeira seca, não sendo condicionados pelo teor de água e pela temperatura. Alguns destes insectos colocam os seus ovos em fendas de secagem ou em poros abertos. As larvas depois perfuram a madeira em busca de carbo-hidratos armazenados no parênquima das células, sendo o seu estrago concentrado na madeira de borne. A sua presença só é detectada quando os insectos adultos emergem à superfície, normalmente no início do Verão, deixando vestígios de serrim. Se os adultos reinfectarem de novo a madeira, através da postura de novos ovos, será formada uma rede interior de galerias. As medidas de controlo deste tipo de ataque devem focar-se na prevenção uma vez que o controlo de peças infestadas é muito difícil (Hoadley, 2000).

Em Portugal encontram-se: o Caruncho grande (*Hylotrupes bajulus* L), que ataca apenas as espécies resinosas, e em geral só o borne; o Anóbium (*Anobium punctatum*) associado à infestação de mobiliário de resinosas e folhosas; e o *Lyctus* que ataca apenas as madeiras de folhosas ricas em amido (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 43). As térmitas de madeiras secas (Ordem Isoptera; Família Kalotermitidae), presentes em Portugal continental e ilhas partilham de algumas características do ataque por caruncho (Cruz & Nunes, A madeira, 2005).

As **térmitas** são insectos sociais e têm preferência por madeira húmida, podendo causar efeitos devastadores nas estruturas de madeira. A mais comum das espécies de térmitas (térmitas subterrâneas) é muito sensível à luz e tem de manter contacto com o solo. Vivem na escuridão e apenas são visíveis quando os adultos alados emergem e voam na Primavera para fundar uma nova colónia (período em que normalmente são detectadas). Consomem madeira para sobreviver, pelo que enquanto estiverem presentes nas peças de madeira, os estragos continuam a aumentar (Hoadley, 2000).

As **térmitas subterrâneas** existem em todas as regiões de Portugal continental (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 41), sendo especialmente problemáticas por atacarem o interior da madeira sem deixarem vestígios exteriores aparentes da sua actividade. Alimentam-se principalmente de celulose existente em materiais lenhosos no solo e transitam para elementos de construção com teores de humidade favoráveis (Cruz & Nunes, A madeira, 2005). A identificação de uma infestação, para além da emergência dos insectos adultos alados, faz-se através da observação de galerias de terra (para protecção da luz) sobre a madeira ou sobre a alvenaria. Como medida protectora podem interpor-se materiais não perfuráveis entre a madeira e o solo obrigando as térmitas ao seu contorno exterior, mas em zonas muito expostas, o tratamento químico é o único que é eficaz. A madeira destruída surge com aspecto de folhado (pela destruição selectiva do lenho de início de estação) e podem ser observados os insectos na fase larvar (designadas de “formiga branca”).

II.D.2 AGENTES ATMOSFÉRICOS

Os principais agentes atmosféricos de degradação da madeira são a chuva e a radiação solar (especialmente a radiação ultravioleta), que normalmente agem em conjunto. A destruição provocada por estes agentes é muito lenta estimando-se que a profundidade de madeira destruída durante um século seja em média de 6mm (variando entre 1 e 13mm). Esta acção será maior ou menor em função do clima, da espécie de madeira afectada e, da exposição ao

vento e chuva e ainda da orientação solar (Cachim, 2007). Os efeitos destes agentes são ampliados com as mudanças de temperatura, ciclos de congelamento e degelo, abrasão por partículas atmosféricas e crescimento de microorganismos (USDA Forest Service, 2010).

A madeira é afectada pelos agentes atmosféricos através de alterações químicas e físicas. No primeiro caso a madeira sofre a alteração dos seus constituintes, nomeadamente da lenhina. No segundo caso, a madeira é sujeita a empenas e fendas (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 44). A lenhina é destruída pelos raios ultravioleta deixando as fibras de celulose soltas na superfície, provocando a sua libertação ao longo do tempo (USDA Forest Service, 2010). A chuva conjugada com a radiação solar (radiação de infravermelhos) em circunstâncias de especial agressividade promovem ciclos rápidos de humificação e secagem, gerando diferenciais de tensão entre a superfície e o interior que produzem empenas e fendas ou descolagem dos anéis de crescimento (Schein, 1968). Este tipo de situações não implica em princípio problemas estruturais com a gravidade do ataque biológico ou da acção do fogo, mas podem propiciar as condições para a ocorrência de degradação biológica. O aumento da rugosidade da madeira, facilitando a deposição de poeiras pode favorecer a retenção de água. As fendas⁷⁸ podem ser problemáticas porque são um veículo de acesso e permanência de humidade em zonas mais interiores das peças, mais dificilmente ventiladas, pelo que se podem tornar focos privilegiados de degradação (Schein, 1968).

II.E Resistência ao fogo

A resistência ao fogo da madeira relaciona-se com as suas propriedades de difusão e condutividade térmica. Sendo um material termicamente isolante (com condutividade térmica baixa), requer muita energia e tempo para elevar um grau a sua temperatura (calor específico e difusão térmica baixos), dilatando-se e contraindo-se por efeito do calor de forma muito moderada (coeficiente de dilatação térmica muito pequeno) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Mas o Carbono, o Oxigénio e o Hidrogénio fornecidos pela celulose e lenhina tornam a madeira um material combustível. O processo de combustão ocorre necessariamente com a presença de oxigénio e com uma chama conjugada com uma temperatura em redor dos 300°C⁷⁹ ou na sua ausência com temperaturas superiores a 400°C (Negrão & Faria, 2009). Parte da energia presente na combustão de uma peça de madeira é destinada a evaporar a água nela contida, pelo que a redução do conteúdo da mesma produz até um aumento na sua resistência. Passados 4 a 5 minutos após o início da combustão forma-se uma camada carbonizada, a qual tem uma boa propriedade de isolamento (metade do calor específico da madeira 0,16), pelo que o processo de degradação e a combustão se atrasam significativamente. Conforme a espessura da madeira aumenta o tempo para alcançar o interior de uma peça cresce quadraticamente, limitando ainda mais a progressão do incêndio e a degradação das propriedades mecânicas da madeira (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 59).

Dentro de certas condições (dimensões do componente) o comportamento da madeira em termos de resistência ao fogo é considerado bom, embora do ponto de vista das estruturas, as suas ligações e a interacção com outros materiais (ligadores metálicos por exemplo) sejam pontos de especial fragilidade. Este bom comportamento não deve ser alvo de generalizações uma vez que apenas em peças com grandes secções transversais, pelo menos superiores a

⁷⁸ O tipo de corte dos componentes de madeira é importante porque as peças que têm uma secção sujeitas a um corte radial são mais estáveis do que as peças com secções sujeitas a cortes tangenciais, sendo estas últimas mais vulneráveis a potenciais fendas (Schein, 1968).

⁷⁹ Os valores apresentados por Hoadley (2000) são entre 260°C e 288°C. Outras fontes referem 275°C (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 59).

80mm se pode referir essa qualidade (Cachim, 2007), até porque a madeira em combustão acaba por ser um instrumento eficaz de propagação e manutenção do fogo (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 59).

Os aspectos positivos da madeira residem no facto de que, ao contrário de outros materiais, esta não sofre rotura súbita quando sujeita à combustão, conservando as suas características de resistência mecânica durante algum tempo devido ao efeito isolante das camadas carbonizadas⁸⁰. O mesmo sucede quando sujeita à acção da água (como meio de combate) durante um incêndio⁸¹. Como a camada carbonizada pelo fogo cria uma protecção cujo isolamento é 6 vezes superior ao da própria madeira, o factor determinante da redução da resistência e da alteração das suas propriedades estruturais será a diminuição da secção dos seus componentes e não a alteração da sua estrutura interna. A densidade e o teor de água afectam o comportamento da madeira na presença de fogo, ou seja quanto mais densa for uma madeira, menor é a facilidade e a velocidade da combustão. O teor de água da madeira nos componentes de construção é normalmente reduzido, não sendo por esse motivo um factor a considerar, no entanto as madeiras com teores elevados de água atrasam naturalmente o processo de combustão (Negrão & Faria, 2009).

A resistência ao fogo obtém-se ao dimensionar adequadamente a secção dos componentes de madeira, de modo a que a secção residual, passado o tempo de resistência programado, seja suficiente para suportar as solicitações consideradas. Resistências ao fogo de 90 minutos são facilmente alcançáveis através de um adequado dimensionamento e cuidado na concepção dos detalhes das ligações (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, pp. 59-60).

II.F Tecnologia da madeira

II.F.1 SECAGEM

A secagem tradicional da madeira ao ar é insuficiente para as utilizações em que a estabilidade dimensional é importante. Acresce que é um processo demorado e para além de comportar um maior risco de surgimento de defeitos dificilmente atinge valores de teor de água baixos. A secagem artificial por secador de ar quente é o processo mais usual⁸² para a obtenção de componentes de madeira com uma primeira protecção contra a sua degradação. No caso particular da madeira de Pinho, a secagem em estufa após o abate, para além de proporcionar uma defesa contra o azulamento, é o processo recomendado para eliminar larvas de insectos e o Nemátodo. O Pinho seca relativamente rápido, mas outras espécies como o Eucalipto e o Carvalho são madeiras de secagem lenta pelo que há nestes casos um maior risco de existirem grandes diferenciais de teor de água entre as massas interiores e as superficiais, provocando tensões que podem conduzir à produção de fendas (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011).

II.F.2 TIPOS DE CORTE (SERRAGEM)

Através da serragem efectua-se um processo de transformação por corte de toros redondos obtendo-se peças com superfícies planas e dimensões determinadas. As decisões a tomar antes do corte vão condicionar em grande parte a qualidade das peças serradas. As zonas do toro em que a qualidade da madeira em princípio é inferior, são as de lenho juvenil e a zona

⁸⁰ Um elemento metálico sujeito a 300°C reduz drasticamente as suas propriedades físico-mecânicas.

⁸¹ A acção da água sobre uma estrutura de madeira em combustão não causa contracções bruscas (baixa expansão térmica) que por vezes causam o colapso de outros materiais (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, pp. 59-60).

⁸² Peças de madeira de pinho com espessuras de 27mm precisam de 3 dias para secar em secador de ar quente (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011)

de transição entre o cerne e o borne. O lenho juvenil que rodeia a medula até à quarta ou quinta camada de crescimento tem maior susceptibilidade a empenos e à podridão, sendo a resistência mecânica menor. A zona de transição entre cerne e borne promove tensões internas elevadas, causadoras de eventuais empenos e dificuldade de serragem. Os esquemas de serragem foram desenvolvidos como processos que correspondem a sequências de corte tendo como objectivo a obtenção de uma maior qualidade de madeira, eliminando as zonas que causam maiores defeitos (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011).

II.G Produtos

Os produtos de madeira para estruturas podem ser divididos em três grandes grupos: os componentes de madeira maciça, os componentes de derivados de madeira e as placas.

II.G.1 MADEIRA MACIÇA

Os componentes de madeira maciça são obtidos a partir do tronco da árvore sem outro tipo de transformação que não o corte. Uma primeira divisão permite distinguir os componentes de secção transversal redonda e os de secção serrada. Estes componentes normalmente encontram-se disponíveis até aos 6,00m de comprimento podendo ir até aos 8,00m. Segundo Cachim (2007), podem-se designar genericamente os componentes de secção quadrada de postes e os de secção rectangular de vigas.

A utilização da madeira maciça está regulada por um conjunto de normas que se referem à durabilidade (definição de classes de uso e tratamentos e durabilidade natural), às dimensões, às classes de resistência e às nomenclaturas das espécies (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013):

- EN 335-2 “Durability of wood and wood-based products - Definition of use classes - Part 2: Application to solid wood”
- EN 336 “Structural timber - Sizes, permitted deviations”
- EN 338 “Structural timber - Strength classes”
- EN 350-2 “Durability of wood and wood-based products - Natural durability of
- EN 1309-1 “Round and sawn timber - Method of measurement of dimensions - Part 1: Sawn timber”
- EN 1912 “Structural timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species”
- EN 13501-1 “Fire Classification of Construction Products and Building elements - Classification using test data from reaction to fire tests”
- EN 13556 “Round and sawn timber - Nomenclature of timbers used in Europe”
- EN 14081-1 “Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: General requirements”

Do ponto de vista dos produtos de construção pode-se fazer uma distinção entre as madeiras resinosas e as folhosas. As resinosas apesar de serem em geral menos duráveis e menos resistentes, são as mais utilizadas. As madeiras folhosas são em geral mais resistentes, mais duráveis e disponíveis em maiores secções, mas com uma oferta no mercado muito mais reduzida e com uma gama inferior de comprimentos (TRADA & IStructE, 2007).

De grande importância na prescrição de produtos de madeira é a adopção de nomenclaturas rigorosas na prescrição. A norma EN13556 apresenta uma recolha das denominações das

várias espécies utilizadas na Europa (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Quanto às dimensões dos produtos, embora não exista uma norma que defina valores normalizados para componentes de madeira, a norma EN 336 regula as tolerâncias das peças de madeira com secções transversais entre 22mm e 300mm (para uma humidade de referência de 20%⁸³). Para obter as dimensões segundo o valor de referência de 20%, deve assumir-se que a espessura e largura de uma peça de madeira diminuem 0,25% por cada 1% de diminuição de humidade abaixo dos 20% e aumenta 0,25% por cada 1% de aumento do teor de humidade no intervalo de 20% a 30%. Para a longitude a norma não admite desvios negativos. As dimensões das peças de madeira podem ser medidas de acordo com a norma EN 1309-1, segundo a qual, a largura da face de uma peça é a maior dimensão perpendicular ao seu eixo longitudinal e a espessura é a distância entre as duas faces (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 82).

Em geral, são habituais as dimensões definidas pelos países nórdicos devido à sua maior cota de mercado. Em Espanha são correntes as dimensões múltiplas de 50mm por exemplo, 100mmx150mm e 200mmx200mm, com um limite máximo de 300mmx300mm (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Em Portugal o mercado também segue essa regra (JULAR, 2015), como se pode encontrar nas informações do sítio da empresa Jular, com vigas de madeira maciça de Casquinha e de Riga com 300mmx300 mm; 250mmx300 mm; 200mmx300 mm; 200mmx250 mm; 200mmx200 mm; 150mmx250 mm; 150mmx200 mm; 100mmx250 mm e comprimentos de 5,50m a 13,50m, embora se possam encontrar dimensões intermédias (cf. Tabela 2) como acontece na Pedrosa & Irmãos (Pedrosa & Irmãos, 2013).

Tabela 2 - Dimensões comerciais de madeira serrada (Pedrosa & Irmãos, 2013).

TIPO DE PEÇA	SECÇÃO (cm)	COMPRIMENTOS (m)
Vigas	14x7; 16x8; 20x10; 22x12; 25x15	2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5
Barrotes	10x10; 10x7	2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5
Tábuas		
Forro (tectos)	15x 80/160	2,5
Soalho (pavimento)	22x 100/130	2,5
Solho (cofragem)	25x 70/300	2,5/3
Moldura (carpintaria)	40x 160/300	2,5/3
Tabuado (carpintaria)	50x 160/300	2,5
Decks (pavimento)	22/40x 100/140	2,5

As propriedades da madeira serrada de interesse para o cálculo estrutural são definidas pela classe resistente regulada pela norma EN 338. A norma EN 1912 faz uma listagem da atribuição de classes de resistência às distintas combinações de espécies e classes de qualidade existentes no mercado europeu, facilitando assim a escolha de entre as espécies e respectivas classes de qualidade existentes no mercado europeu (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

II.G.2 PRODUTOS DERIVADOS DE MADEIRA PARA USOS ESTRUTURAL

Existem diversos produtos derivados de madeira aplicáveis às estruturas: madeira lamelada colada (*Glulam*), LVL (*laminated veneer lumber*), PSL (*parallel strand lumber*), LSL (*laminated strand lumber*), etc. Todos estes produtos têm em comum o facto de possuírem as fibras de madeira orientadas segundo o eixo da peça, conferindo uma boa resistência na direcção das fibras. Comparativamente com a madeira maciça, os defeitos tendem a ficar mais dispersos melhorando a homogeneidade do produto final. Os produtos LVL, PSL e LSL são obtidos através da decomposição dos toros e admitem por esse motivo uma madeira de mais fraca

⁸³ Quanto à humidade, esta deve ser medida de acordo com a norma 13183-2 pelo método da resistência eléctrica com um xilohigrómetro.

qualidade na sua composição (Cachim, 2007). Do ponto de vista do comportamento, em relação à madeira serrada, estes componentes permitem configurar estruturas de maiores vãos, com maior estabilidade dimensional e com maior durabilidade se utilizados no exterior (TRADA & IStructE, 2007).

II.G.3 PLACAS DE DERIVADOS DE MADEIRA

As principais placas utilizadas para fins estruturais são as placas de macro partículas de madeira (OSB - Oriented Strand Board) e os Contraplacados. O OSB tem vindo a substituir os contraplacados porque não é tão exigente quanto à qualidade da madeira utilizada. O OSB é composto por três camadas, sendo as macro-partículas das camadas dos topos orientadas segundo uma direcção e a do meio orientadas aleatoriamente.

Também são utilizadas em algumas aplicações estruturais as placas de fibra de madeira - usando fibras da decomposição de toros e aparas de madeira reciclada, oferecendo um acabamento uniforme e superfícies homogêneas. As placas de partículas de madeira (*Particleboard* ou *Chipboard*), menos utilizadas em aplicações estruturais são compostos por partículas de madeira dispostas aleatoriamente.

II.G.4 PAINÉIS

Os painéis de madeira com aplicações mais amplas que as placas incluem os vários tipos de lamelados. Podem-se distinguir os lamelados quanto ao tipo de ligação das lamelas e quanto à sua disposição. Assim, os lamelados podem ser pregados ou colado e a disposição das lamelas pode ser paralela, cruzada simples e cruzada em grelha.

II.G.5 COMPONENTES COMPOSTOS

A partir dos diversos componentes básicos, através de serragens e de ligações, obtêm-se componentes de construção elaborados que visam normalmente obter melhores características que as dos componentes originais

II.G.6 PROCESSOS DE MODIFICAÇÃO

A modificação térmica da madeira consiste na aplicação de ciclos de aquecimento a temperaturas que variam entre 160°C e 260°C, alterando a estrutura da madeira, provocando a diminuição da humidade e equilíbrio, melhorando a sua resistência aos fungos (menos a insectos e sem efeito relativamente às térmitas). A modificação química consiste “*na reacção entre os grupos hidroxilo da madeira e um reagente químico*” produzindo-se um efeito semelhante ao da modificação térmica, embora se consiga uma maior resistência aos fungos e aos raios ultravioleta. A modificação por impregnação baseia-se na introdução de produtos químicos nas paredes das células, diminuindo-se assim a sua higroscopicidade (Esteves, 2014).

II.H A floresta

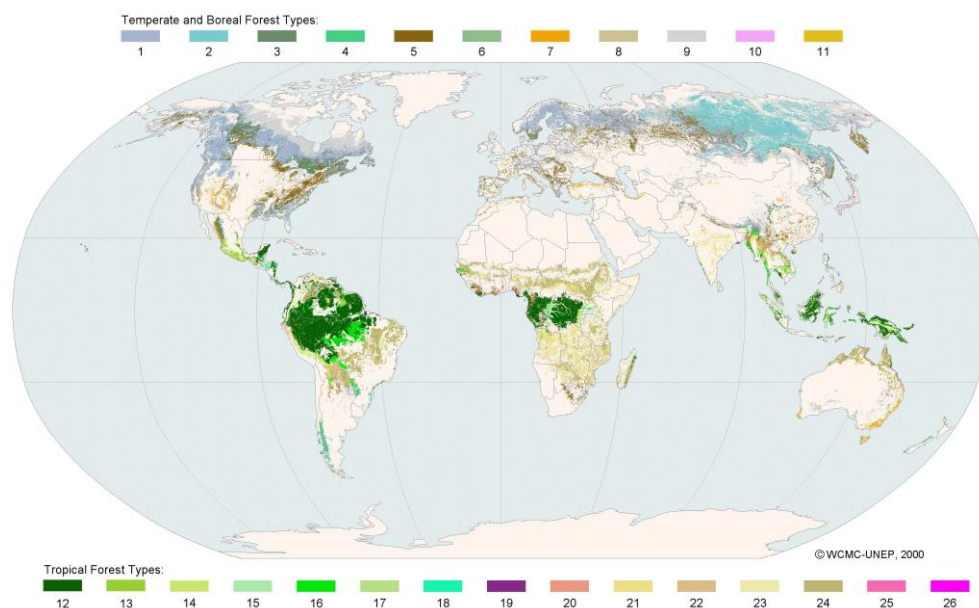


Fig. 103 - Distribuição global das florestas actuais (UNEP & WCMC, 2013). 1 e 2 - Florestas boreais e temperadas de coníferas; 3 a 8 - Florestas temperadas de folhosas e mistas; 14 a 22 - Florestas tropicais húmidas; 23 a 25 - Florestas tropicais secas; 9 e 26 - Floresta escassa e parques; 10 e 27 - Plantações exóticas; 11 e 28 - Espécies nativas; 12 e 13 - Plantações não especificadas ou florestas não classificadas.

Como definição, aceita-se que uma floresta é um ecossistema no qual as árvores são a forma predominante de vida. Mas a classificação de um território como floresta não é pacífico. Aceita-se que as florestas são ecossistemas nos quais as árvores são a forma predominante de vida e muitas das definições mais específicas de floresta referem-se a ecossistemas em que a área coberta por copa de árvores é uma percentagem que pode ir de 30% a 75% do território, variando estes valores segundo as instituições.

Para a UNESCO uma floresta é o território em que árvores de mais de 5m de altura se tocam (floresta cerrada) ou, se não se tocarem, cubram pelo menos 40% do território. (Groombridge & Jenkins, 2002, p. 80). A definição de floresta adoptada no 6.º Inventário Florestal Nacional (IFN) reporta-se à nomenclatura definida pela FAO no âmbito do “Forest resources Assessments” e do processo “Forest Europe”. No 6º IFN incluem-se no conceito de floresta as superfícies temporariamente desarborizadas, para as quais está prevista uma superfície arborizada em 5 anos. Integram-se também os quebra-ventos, cortinas de abrigo e alinhamentos de árvores desde que cumpram os parâmetros definidos em termos de dimensão e forma: as estradas florestais e outras superfícies com área menor que 0,5ha ou largura inferior a 20,00m integradas em manchas maiores que 0,5ha e 20,00m de largura, os povoamentos jovens, os montados de Sobro e Azinho, os povoamentos de Pinheiro manso, Alfarrobeira e Castanheiro, mesmo os que sejam destinados à exploração dos seus frutos e as árvores mortas em pé (Uva, 2013).

O clima é um dos factores principais de desenvolvimento das florestas já que estas não se desenvolvem em áreas muito secas ou muito frias. A conjugação da humidade e da temperatura e as características do solo em termos de nutrientes e de água, ou a presença de minerais tóxicos, limitam ou potenciam o seu desenvolvimento. Outros factores condicionantes são o fogo, as inundações e a acção de herbívoros. Cerca de metade da

superfície terrestre seria apta ao desenvolvimento da floresta, mas não o é devido à acção humana. A área actual de floresta é de cerca de 40 milhões de km²⁸⁴ (SCBD, 2001, p. 91).

Os sistemas de classificação que tentam obter classificações rigorosas apresentam dificuldades porque a composição e a estrutura das florestas é muito diversificada variando com a latitude, a altitude e a exposição solar entre outros factores. Podem-se no entanto apresentar sistemas simplificados que permitem uma rápida percepção das grandes regiões mundiais. Um dos sistemas integra 5 grupos principais que agrupam 22 tipos gerais (cf. 103 e 104). As florestas seriam assim distribuídas em: 1) Boreais e temperadas de coníferas; 2) Temperadas folhosas e mistas; 3) Tropicais húmidas; 4) Tropicais secas; e 5) Zonas de reduzida arborização e parques (SCBD, 2001, p. 93) (Groombridge & Jenkins, 2002, p. 81).

Forest Type	Area (km ²)	Forest Type	Area (km ²)
Boreal and Temperate Needleleaf	12,511,062	Fresh water swamp	516,142
Evergreen needleleaf	8,894,690	Semi-evergreen moist broadleaf	1,991,013
Deciduous needleleaf	3,616,372	Mixed needleleaf and broadleaf	17,848
Temperate Broadleaf and Mixed	6,557,026	Needleleaf	61,648
Mixed broadleaf/ needleleaf	1,803,222	Mangrove	121,648
Broadleaf evergreen	342,892	Disturbed	842,269
Deciduous broadleaf	3,738,323	Tropical Dry	3,701,883
Freshwater swamp forest	126,963	Deciduous/ semideciduous broadleaf	3,034,038
Sclerophyllous dry forest	485,093	Sclerophyllous	405,553
Disturbed	60,533	Thorn	262,292
Tropical Moist	11,365,672	Sparse Trees and Parkland	4,748,694
Lowland evergreen broadleaf rainforest	6,464,455	Temperate	2,407,735
Lower montane forest	620,014	Tropical	2,340,959
Upper montane forest	730,635	TOTAL	38,808,671

Fig. 104 - Zonas de principais tipos de Florestas (SCBD, 2001).

As **florestas boreais e temperadas de coníferas** são o tipo dominante, cobrindo cerca de 1/3 da floresta mundial. Surgem em zonas altas do hemisfério norte e em algumas zonas temperadas. As coníferas são muito eficientes na captação da luz solar, limitando o desenvolvimento da vegetação ao nível do solo, sendo a estrutura das suas florestas muito simples com uma baixa diversidade de espécies de árvores (em geral) (SCBD, 2001, p. 93). No hemisfério norte, abaixo do círculo Ártico esta zona percorre a Rússia, o Canadá e a Escandinávia, dominam as espécies resinosas: os Pinhos (*Pinus*), o Espruce (*Picea*), os Laríços (*Larix*), os Abetos (*Abies*), e as *Pseudotsugas* e *Tsugas* (UNEP & WCMC, 2013). As espécies da família pinácea, desenvolvendo-se também a altitudes acima dos 1500m como os Alpes, os Cárpatos, as montanhas rochosas e as Kii no Japão (Pryce, 2005).

As **florestas temperadas de folhosas e mistas** (folhosas/coníferas) são geralmente características das latitudes temperadas quentes estendendo-se às zonas temperadas frias, particularmente no hemisfério sul. São florestas mais complexas com maior diversidade de espécies (SCBD, 2001, p. 93). Pertencem a este tipo as florestas de caducifólias dos EUA, China e Japão, mas também as folhosas perenifólias do Japão, Chile, Tasmânia e as florestas da Austrália, Mediterrâneo e Califórnia, e também as florestas de Faia do Chile e Nova Zelândia (UNEP & WCMC, 2013).

As **florestas tropicais húmidas** incluem muitos tipos diferentes de florestas, estimando-se que integrem entre 60 a 90% de todas as espécies. Apenas nas florestas plantadas pelo Homem, nas zonas de solos mais pobres, de maior sazonalidade climática ou ainda em zonas mais altas essa diversidade não se faz notar (SCBD, 2001, p. 94). Incluem-se na floresta tropical húmida, as florestas baixas de folhosas perenifólias da bacia do Amazonas

⁸⁴ Considerando a definição de floresta da FAO em que o coberto arbóreo é pelo menos 10% do terreno, estima-se a área de floresta em 39 milhões de Km², ou seja 28,8% da superfície terrestre (excluindo lagos, rochedos e gelo) (UNEP & WCMC, 2013).

(florestas da Várzea, Igapó e Terra Firme), as florestas do Sudoeste Asiático, as florestas da bacia do Congo. As florestas de mangue e as florestas coníferas tropicais da América central também se incluem neste tipo (UNEP & WCMC, 2013).

As **florestas tropicais secas** ocorrem em áreas afectadas por secas sazonais alternadas com chuvas, proporcionando condições para o desenvolvimento de espécies caducifólias. Dentro deste tipo desenvolvem-se as savanas, especialmente em zonas de solos pobre e com a recorrência de incêndios (SCBD, 2001, p. 94). Outra floresta incluída neste tipo é a floresta de espinhos densa e de baixa estatura com grande frequência de espécies espinhosas que se encontra em zonas de seca prolongada e especialmente onde existe abundância de animais de pasto (UNEP & WCMC, 2013).

As **zonas de floresta escassa** e os parques são florestas com coberto arbóreo de 10% a 30%, ocorrendo em áreas de transição para zonas não florestais (SCBD, 2001, p. 94). Ocorrem principalmente na região boreal e na região seca dos trópicos. A norte da floresta boreal ou da taiga, as condições não permitem um desenvolvimento contínuo da floresta pelo que surgem áreas de floresta escassa e descontínuas chamadas de taigas abertas, zonas abertas de líquenes ou tundras (UNEP & WCMC, 2013).

Outro sistema de classificação é o adoptado pelo WWF, com 825 eco-regiões, e 14 biomas gerais (cf. figura 105). Este foi o sistema adoptado como ponto de partida para a elaboração de um mapa da floresta mundial actualizado devido ao objectivo da Convention on Global Diversity (CBD) de conservar pelo menos 10% de cada tipo de floresta até 2010 (UNEP-WCMC, WWF, WRI, & IFP, 2009). A actualização do mapa da floresta teve por base dados obtidos por satélite em 2005, mostrando 30 tipos de florestas. As eco-regiões terrestres (biomas) contemplam 8 tipos diferentes de floresta: florestas tropicais e subtropicais húmidas de perenifólias; florestas tropicais e subtropicais secas de perenifólias; florestas tropicais e subtropicais de coníferas; florestas temperadas de perenifólias e mistas; florestas temperadas de coníferas; florestas boreais/taiga; floresta mediterrânica e arbustos; e Mangais⁸⁵.

A importância das florestas é universalmente reconhecida porque contêm 90% da biodiversidade terrestre, são sumidouros e conservadoras de carbono, fornecendo para além da madeira matérias-primas diversas (UNEP-WCMC, WWF, WRI, & IFP, 2009). Os principais bens produzidos na floresta são os produtos de madeira para construção e mobiliário, a madeira para combustível e carvão e outros produtos florestais como mato, juncos e fibras, mel, plantas comestíveis, aromática e medicinais. A importância ambiental da floresta relaciona-se com o controlo climático, a regulação do ciclo hidrológico local e regional, o papel de sumidouro de carbono, a estabilização de solos e protecção de margens e bacias hidrográficas, contemplando ainda valores culturais estéticos, espirituais e recreativos (UNEP & WCMC, 2013).

A floresta mundial cobre 31% dos solos, localizando-se mais de metade em cinco países (Federação Russa, Brasil, Canada, EUA e China) (FAO, 2012). A velocidade da desflorestação é de cerca de 13 milhões de hectares por ano, uma situação que é sentida particularmente nos países tropicais. No entanto, mesmo nas florestas boreais e temperadas

⁸⁵ Um sistema simplificado e pragmático é apresentado numa publicação do CEJA (Vallet, 2002): Floresta boreal nas zonas frias, as florestas temperadas, a floresta de montanha e a floresta mediterrânica. Na floresta boreal predominam as árvores resinosas como os pinhos as epíceas e os abetos, surgindo a excepção da folhosa Bétula. A floresta das regiões temperadas inclui o Abeto, a Epícea, o Pinheiro, o Carvalho, a Faia, a Cárpea e também o Olmo, a Tília, o Freixo, a Cerejeira brava, a Nogueira, o Lódão e a Bétula. A floresta de montanha dividem-se por extractos variando a composição em função da exposição das encostas. A floresta mediterrânica correspondente ao sul da Europa com Verões secos e quentes contemplam o sobreiro, o pinheiro marítimo, o eucalipto, o castanheiro e o carvalho.

a biodiversidade florestal está a ser ameaçada devido ao aumento da gestão florestal industrial (UNEP-WCMC, WWF, WRI, & IFP, 2009). Mas não será por acaso que o paradigma da sustentabilidade tem um antecedente antigo na gestão florestal⁸⁶ (Schmithüsen, 2013): segundo Kolb a construção em madeira conjugada com a gestão sustentável da floresta contribuem para a qualidade da floresta e para a qualidade da própria madeira. Os dados de países onde a construção em madeira assume um lugar importante na economia, apresentam um consumo de madeira anual que nunca é superior à madeira produzida anualmente pela floresta (Kolb, Systems in timber engineering, 2008).

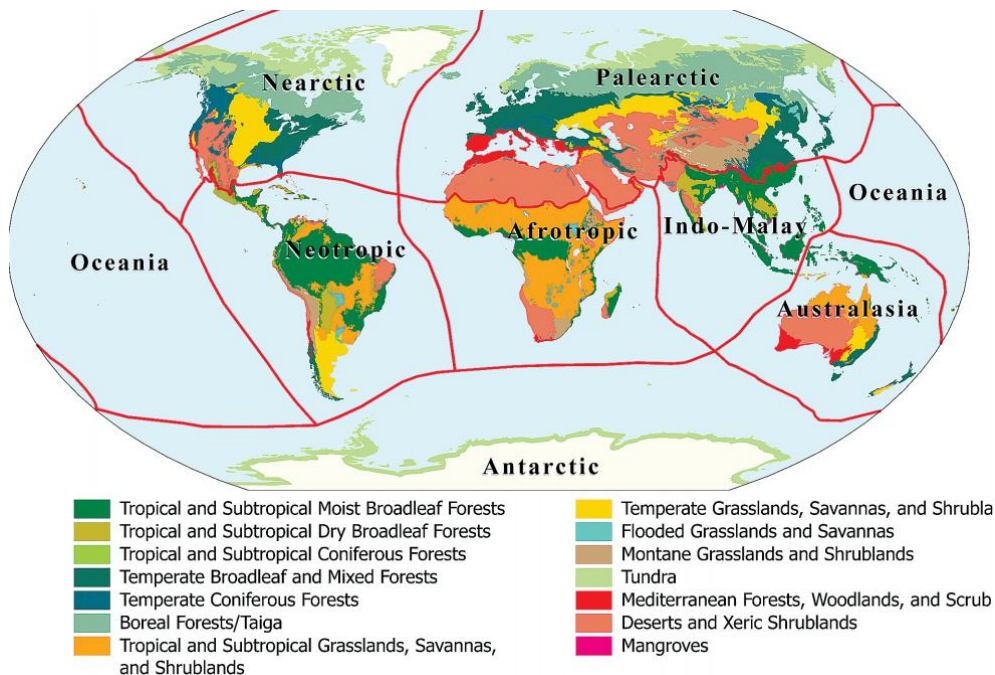


Fig. 105 - Eco-regiões com 14 biomas e 8 tipos de floresta. Sistema adoptado pelo WWF (Olson & et al., 2001).

II.1 Argumentos de utilização

A madeira é um material cuja utilização na construção, mesmo em países com uma vasta tradição, é por vezes difícil de defender porque as suas fragilidades apontam para outras soluções aparentemente mais convenientes. Esta dificuldade é ampliada em países onde não existe uma tradição de construção em madeira consolidada. Por esse motivo a ausência de antecedentes válidos e o desconhecimento conduzem à desconfiança e rejeição por parte de alguns dos actores envolvidos nos processos de decisão (habitantes, arquitectos, construtores, promotores). A aceitação da madeira implica uma atitude por parte desses decisores que deve passar pela informação e pela argumentação.

Uma caracterização prévia do mercado da oferta da habitação em madeira em Portugal com base na informação disponibilizada na Internet em 2011 por 55 empresas (Morgado, 2011) concluiu pela identificação dos principais argumentos para suportar a escolha da madeira como material de construção agrupados em temas como a sustentabilidade, a eficácia construtiva, o uso, o conforto e a segurança. Os argumentos que foram encontrados em maior número foram a rapidez de execução, o conforto térmico, a durabilidade, a redução de

⁸⁶ Em 1713 Hans von Carlowitz propunha a conservação, crescimento e uso da madeira de uma forma estável e sustentável. No seu livro *Silvicultura oeconomica* utiliza o termo alemão para sustentabilidade: *Nachhaltigkeit* (Schmithüsen, 2013) naquela que terá sido uma das primeiras abordagens científicas à gestão da floresta.

consumo de energia, a resistência estrutural, as características de isolamento térmico e a salubridade do ar. Nessa primeira investigação, os argumentos encontrados puderam então ser repartidos nos seguintes grupos:

- Sustentabilidade: fixação de CO₂; potencial de reciclagem; fomento da reflorestação; material renovável; reduzido consumo energético na transformação; reduzida produção de resíduos; baixo consumo de energia; potencial de reciclagem de resíduos produzidos na transformação;
- Eficácia construtiva: rapidez de execução; custos favoráveis; facilidade de manutenção; baixo custo de manutenção; construção seca; pré-fabricação; flexibilidade; fundações mais reduzidas; previsão de custos rigorosa; menor exigência em mão de obra; simplicidade do trabalho em obra; menor espessura das paredes;
- Uso e conforto: conforto acústico; conforto térmico; redução de consumo energético; salubridade do ar; estética associada à madeira;
- Segurança: durabilidade; resistência estrutural; segurança contra incêndio; resistência ao sismo.

Um estudo posterior efectuado através de inquérito às empresas de construção em madeira em Portugal (Morgado & Pedro, 2011) obteve um conjunto de repostas que graduaram os argumentos por ordem de importância dentro de cada grupo pré-definido (ecologia, funcionalidade/conforto, estética/simbólica, economia/eficácia e segurança):

- 1) Ecologia⁸⁷:
 - a) A madeira é um material renovável
 - b) A madeira é um material reciclável e reutilizável
 - c) A madeira é um material que fixa o CO₂⁸⁸
 - d) O uso da madeira incentiva a gestão de florestas sustentáveis
 - e) O uso da madeira reduz os resíduos de construção em obra
- 2) Funcionalidade e conforto
 - a) Uma casa de madeira proporciona um bom conforto higrotérmico⁸⁹
 - b) Uma casa de madeira proporciona um bom conforto acústico
 - c) Uma casa de madeira proporciona uma boa qualidade do ar interior
 - d) Uma casa de madeira tem uma baixa inércia térmica
 - e) Uma casa de madeira proporciona maior flexibilidade na compartimentação interior
- 3) Estética e simbólica
 - a) Uma casa de madeira destaca-se pela diferença
 - b) Uma casa de madeira está na moda
 - c) Uma casa de madeira tem uma ambiência rústica
 - d) Uma casa de madeira tem uma ambiência moderna e contemporânea
 - e) Uma casa de madeira integra-se melhor nas paisagens em que se insere
- 4) Economia e eficácia

⁸⁷ A análise do ciclo de vida de duas soluções descrita no artigo "Comparative life-cycle assessment of a single-family house: Light steel frame and timber frame" (Coelho, Lopes, Branco, & Gervásio, 2012) concluiu que a solução de estrutura de madeira tem um comportamento mais favorável de um ponto de vista económico e ambiental em relação a uma solução de "light steel frame".

⁸⁸ As emissões de CO₂ associadas à construção de 1m² de parede são de -50Kg de sequestro de CO₂ contra +58Kg no caso da alvenaria. (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011)

⁸⁹ "O isolamento térmico da madeira é pelo menos 3 vezes superior ao tijolo cerâmico furado, cinco vezes superior ao betão, nove vezes superior à pedra natural e 1000 vezes superior ao alumínio". (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011).

- a) A construção em madeira tem custos iniciais inferiores aos da construção corrente⁹⁰
 - b) A construção em madeira tem custos de operação inferiores aos da construção corrente⁹¹
 - c) O fabrico de elementos de madeira consome pouca energia⁹²
 - d) A construção em madeira é mais rápida
 - e) A construção em madeira relaciona-se com processos otimizados (pré-fabricação, construção modular, produção em massa)
- 5) Segurança
- a) Uma casa de madeira é durável
 - b) Uma casa de madeira é resistente estruturalmente
 - c) Uma casa de madeira é segura contra riscos de incêndio
 - d) Uma casa de madeira tem um bom comportamento ao sismo

Analisando os argumentos em conjunto e individualmente é possível retirar algumas conclusões genéricas: alguns dos argumentos são imediatamente rebatíveis; uma parte deles são relativos a contextos singulares e finalmente um ultimo grupo de argumentos são apenas aplicáveis a sistemas de construção específicos e não à construção em madeira como um todo. Finalmente pode concluir-se que o argumentos estético, embora muito subjectivo, e o argumento ambiental, mais objectivo, serão os mais convincentes para se optar pela utilização da madeira.

Do ponto de vista da funcionalidade e do conforto, qualquer das características apontadas podem ser obtidas com outros tipos de materiais estruturais que não a madeira. Grande parte das características que influenciam o conforto dependem mais da composição construtiva da envolvente e dos revestimentos de acabamento do que propriamente da estrutura. Um bom nível de conforto higrotérmico e de qualidade do ar interior podem ser obtidos numa casa com estrutura de betão armado ou de aço, com uma envolvente e revestimentos adequados que podem até incluir a madeira. Muitas casas com estruturas de madeira podem potenciar pontes térmicas e ter na composição da envolvente revestimentos noutros materiais que não proporcionem uma tão boa qualidade do ar interior. A baixa inércia térmica da construção em madeira (principalmente dos sistemas leves) pode ser considerada uma desvantagem, em especial em climas quentes como o de Portugal. As soluções de construção em madeira, que funcionam e proporcionam conforto nos climas das regiões tradicionais da construção em madeira (climas frios e tropicais), podem não ser adequados a climas temperados como o de Portugal. Também o caso do conforto acústico, por exemplo, pode ser apresentado não como uma vantagem, mas como uma fragilidade em relação a sistemas com maior massa, como os

⁹⁰ O Arquitecto Telmo Cruz referiu na Conferência C-6 Construir em madeira (10.12.2010) que ao projectar uma moradia em madeira conseguia obter preços de cerca de €750/m², comparativamente melhores do que com outras soluções estruturais.

⁹¹ Uma comparação entre o consumo de energia para construir 1 m² de parede de uma casa construída com reticulados leves em comparação com uma casa construída com alvenaria na Polónia resultou nos seguintes valores: 271MJ para a madeira e 876 MJ para a alvenaria, também os pesos dos materiais foram contabilizados: 71Kg no primeiro caso e 273Kg no segundo (Mydlarz, Contemporary timber-frame construction systems in Europe, 2011).

⁹² "A energia necessária para construir um metro quadrado de parede é em média 270MJ para a madeira e 875 MJ para a alvenaria" (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011). "Uma laje de piso em vigas de madeira e soalho tem um peso próprio de cerca de 40Kg/m² e uma laje de betão armado tem 315Kg/m²" (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011). "Uma parede de madeira ou derivados tem um menor peso que uma parede de alvenaria tradicional (75Kg/m² contra 274Kg/m²)" (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011). As estruturas de madeira pela sua leveza exigem fundações de menores dimensões. Por exemplo, segundo o International Residential Code 2006, as dimensões mínimas das sapatas eram de 15" a 12" para edifícios de reticulados de madeira de dois pisos e de 12" a 29" para edifícios de alvenaria (Wing, 2009). O Arquitecto Telmo Cruz referiu na Conferência C-6 Construir em madeira (10.12.2010) que no projecto do Mercado da Comenda a opção pela estrutura de madeira teve por base cálculos justificativos (também de custos): a solução de madeira era 152 toneladas mais leve que a solução de betão e 110 toneladas mais leve que a solução mista de aço e betão.

de betão e alvenaria. Uma casa de construção em madeira geralmente apresenta dificuldades, nomeadamente ao nível da transmissão de ruído através dos pavimentos e das paredes de compartimentação interior.

Quanto à estética e simbólica, pode-se argumentar que precisamente por não haver uma tradição de construção em madeira em Portugal este deve ser um tipo a evitar pela falta de ligações culturais ao contexto. As entidades licenciadoras poderão em certos casos colocar reservas em relação a determinadas opções que envolvem a construção em madeira. A própria teoria da arquitectura veicula a ideia quase consensual entre os arquitectos que a arquitectura deve manter relações específicas com o “espírito dos lugares”, pelo que no caso de Portugal, salvo poucas excepções não existiriam as condições de partida para considerar o uso da madeira como contextual. Por outro lado, o apelo à rusticidade das casas de madeira, à sua moda ou à contemporaneidade, é algo que não é exclusivo das casas de madeira. Uma casa com estrutura de betão armado pode ser muito eficaz na comunicação dos valores simbólicos associados à madeira (através dos revestimentos ou de elementos estruturais pontuais). Muitos exemplos contemporâneos interessantes poderiam ser apontados para ilustrar esta eficácia. O Prémio Nacional e Arquitectura em Madeira de 2015 é um dos casos mais em que se demonstra que as características simbólicas da madeira podem ser veiculados por obras que integram estruturas de betão armado. Este é no entanto um argumento subjectivo que pode ser utilizado positivamente para defender a utilização da madeira. Na verdade, as estruturas de madeira podem assumir um carácter singular e inovador no contexto nacional. Esta componente simbólica, considerada num sentido amplo e integrando aspectos de gosto, consciência ecológica, moda, ostentação, etc., será um dos argumentos mais importantes para construir em madeira.

Quanto aos custos relativos das casas de madeira, também se pode concluir que pelo menos em Portugal e para grande parte das empresas a actuar no mercado nacional, uma casa de madeira com o mesmo nível de qualidade geral de uma casa de betão armado e alvenaria deverá custar o mesmo ou mais. Das empresas questionadas no referido inquérito, 36% consideram que o preço de uma casa de madeira é igual e 24% consideram que é superior (Morgado & Pedro, 2011, p. 50). Quanto ao consumo energético, mais uma vez não é tanto a estrutura mas mais as características da envolvente construída que são responsáveis por prestações mais positivas ou negativas. Por fim, a associação da madeira a processos racionalizados como a pré fabricação, não são exclusivos da madeira, sendo o aço igualmente adequado aos processos de pré-fabrico.

Relativamente à segurança, sublinhe-se que o argumento segundo o qual o betão armado, que integra a maior parte das estruturas correntes é um material muito novo e com uma durabilidade questionável, é importante, referir que a análise da História da arquitectura parece colocar em evidência também a fragilidade das estruturas de madeira em relação às alvenarias. O património mais durável que chegou até nós e as obras de arquitectura de estatuto mais elevado, só em casos muito excepcionais adoptaram a madeira como material estrutural. Pode ainda acrescentar-se que nos casos das habitações unifamiliares, e relativamente ao seu tempo de vida expectável (cerca de 50 anos), o betão armado parece oferecer uma solução bastante satisfatória. Quanto à resistência estrutural das soluções de madeira, se se pode argumentar que a relação peso/resistência dos componentes de madeira é superior aos materiais concorrentes, verifica-se no entanto que a madeira é bastante inferior quando se pretendem soluções mais arrojadas que integrem grandes vãos e consolas. Quanto às restantes características de segurança, não parece razoável referir que há materiais superiores a outros. A concepção dos diversos projectos é efectuada de acordo com

as normas e regulamentos adequados a cada material devendo todas as soluções cumprir sempre as exigências aplicáveis.

Numa segunda linha de análise deve-se considerar que cada um dos argumentos só vale para os contextos específicos em que uma determinada obra ocorre. Por exemplo, mesmo os argumentos ecológicos que parecem ser aqueles onde a madeira se destaca de todos os outros materiais, podem em certas circunstâncias ser anulados. As vantagens da madeira deixam de ter valor quando por exemplo se utilizam madeiras de florestas não sujeitas a uma gestão sustentável, ou quando os custos ambientais do seu transporte ou da sua transformação (secagem, tratamentos, colagens, corte) passam a ter um peso negativo na sua avaliação, ou ainda quando os tratamentos biocidas, colas, ligadores e revestimentos colocam em causa a sua reciclabilidade e reutilização. Por outro lado, a utilização de madeira importada em vez de se recorrer aos recursos locais funciona contra a utilização da madeira. Se no futuro se conseguir que a floresta portuguesa produza madeira de qualidade para utilização em estruturas, o argumento ambiental será muito mais efectivo.

Um último nível de análise deve sublinhar o facto de existirem diversos sistemas de construção que integram a madeira como material estrutural (reticulados, porticados, paredes, painéis), cada um deles com características diferentes. O denominador comum a todos os sistemas reside no conjunto de vantagens genéricas da madeira enquanto material e cujos argumentos incidem principalmente sobre o grupo da ecologia. Mas outros argumentos só serão válidos se forem acompanhados pelo sistema construtivo aos quais se referem. Os sistemas leves por exemplo divergem dos sistemas pesados nas características de inércia térmica e de resistência ao fogo. Outro exemplo pode ser dado pela divergência dos sistemas porticados em relação aos sistemas de paredes e painéis quanto às características de flexibilidade da compartimentação e da composição da fachada. Deve considerar-se ainda que à escala da habitação unifamiliar, muitas vezes a compartimentação acaba por ser considerada como um sistema independente da estrutura. Ou seja, a definição de um sistema estrutural por si só (na maior parte dos casos) não determina nem o sistema da envolvente nem o sistema da compartimentação. Por esse motivo, o mesmo sistema pode ser sujeito a avaliações muito diversificadas em função das soluções específicas adoptadas.

Conclui-se que as vantagens e desvantagens da madeira deverão ser sempre contextualizadas, não obstante poderem ser determinados denominadores comuns, que incidem essencialmente no seu comportamento ambiental. É um facto objectivo que a madeira é um material renovável, não encontrando a este nível outros materiais concorrentes. Tomando esta propriedade como referência, pode-se afirmar que a madeira pode ter vantagens em relação a outros materiais desde que seja proveniente de florestas com gestão sustentável e desde que o balanço do CO₂ consumido durante o desenvolvimento da árvore não seja anulado pelos processos de transformação, secagem e transporte e desde que os processos de construção sejam racionalizados no sentido da redução dos resíduos em obra e da promoção da possibilidade de reciclagem e reutilização futura.

As restantes propriedades dependem mais de uma boa prática de projecto, pela qual o Arquitecto tem muita responsabilidade, e que não é exclusiva da construção em madeira: uma adequada resposta às exigências de conforto e de segurança e uma adequação às exigências de economia do dono da obra.

III SOLUÇÕES DE ARQUITECTURA DE CASAS DE MADEIRA

Neste anexo realiza-se um levantamento, não exaustivo, das principais soluções de habitação unifamiliar em madeira propostas pelas empresas do sector com mais visibilidade. Pretende-se analisar a variedade das opções em termos do processo de oferta, dos sistemas formais e dos sistemas construtivos. Uma vez que esta abordagem considera apenas a informação oferecida através dos sítios das empresas, o foco do levantamento consiste na caracterização do universo de soluções arquitectónicas com relevo para a componente formal.

As características formais são apenas um aspecto das soluções arquitectónicas uma vez que estas apenas integram os aspectos espaciais, funcionais e estéticos. A solução arquitectónica completa deveria incluir o sistema construtivo que foi abordado com algum pormenor no corpo principal da tese. A observação dos exemplos recolhidos permitirá em alguns casos compreender até que ponto o sistema construtivo pode ser expresso pelo sistema formal e até que ponto a madeira tem uma estética própria. Noutro nível de observação, será evidente em alguns casos perceber de que modo as casas com estruturas de madeira se aproximam ou distanciam das características das casas com soluções estruturais correntes em porticados de betão armado e preenchimento com alvenaria.

III.A Enquadramento

O levantamento de modelos presentes no mercado da oferta do produto casa de madeira foi enquadrado pela análise dos dados estatísticos que apuraram as características tipológicas funcionais mais relevantes nos últimos anos em Portugal.

Com base na análise dos dados estatísticos de Portugal entre 2002 e 2011, observou-se que moradia com mais ocorrências era o T3, com 2 pisos e sem cave. No ano de 2011 este tipo representou 16,59% de todas as "moradias" novas construídas, com um fogo (o INE considera moradias não só as habitações unifamiliares com um fogo, também as moradias com dois fogos). No mesmo ano, o conjunto destas moradias somado com as moradias T3, com dois pisos, mas com cave representaram 24,68% das moradias com um fogo. Por outro lado, no mesmo período, o conjunto das moradias T3 com um piso acima da cota de soleira, com 0 e 1 pisos abaixo da cota de soleira, representaram 24,30% das moradias com um fogo. Este resultado permite concluir que do ponto de vista dos pisos acima da cota de soleira, as moradias T3 com dois pisos ou com um piso são igualmente relevantes, representando quase metade do parque habitacional de moradias novas.

Ou seja, os dois tipos de moradia T3 com um piso, com ou sem cave, em conjunto são mais recorrentes que o tipo dominante, o T3 com dois pisos, sem cave. No entanto, as moradias T3 com dois pisos no seu conjunto têm mais ocorrências que as moradias T3 com um piso (por uma reduzida diferença de 41 moradias em 2011). Verifica-se que apesar do referido tipo dominante recolher o maior número de ocorrências no período de 2002 a 2011, o segundo lugar que em 2002 era claramente atribuído à moradia T3 com dois pisos e uma cave, passou em 2011 ser da moradia T3 com um piso e sem cave. Verificava-se uma tendência para uma cada vez maior aproximação entre as ocorrências dos diferentes tipos de moradia T3.

Tendo como referência o ano de 2011, podem-se seleccionar e classificar por ordem de importância os seguintes tipos de moradia:

1 - Moradia T3 com 2 pisos, sem cave com 1.780 ocorrências (em diminuição relativa desde 2002).

2 - Moradia T3 com 1 piso, sem cave, com 1.535 ocorrências (em crescimento relativo a partir de 2002).

3 - Moradia T3 com 1 piso, com cave, com 1.072 ocorrências (com crescimento ligeiro desde 2002 até 2009, em diminuição a partir daí).

4 - Moradia T4 com 2 pisos, sem cave, com 1.049 ocorrências (em diminuição relativa desde 2003).

5 - Moradia T3 com 2 pisos e cave, com 868 ocorrências (em diminuição relativa desde 2007).

6 - Moradia T4 com 2 pisos com cave, com 798 ocorrências (em diminuição relativa desde 2007).

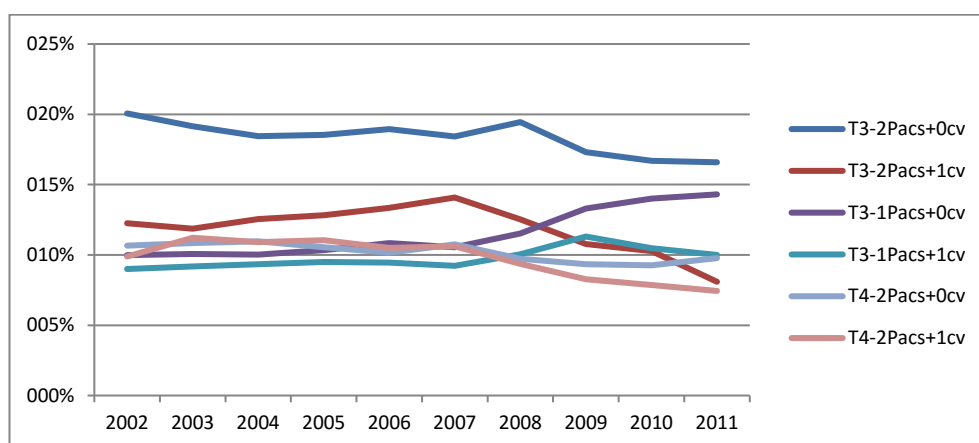


Fig. 106 - Percentagem de moradias novas licenciadas com um fogo, por tipologia, em relação ao número total de moradias novas licenciadas, por ano. Intervalo entre 2002 e 2022 (Dados INE). Nota: Na designação Tx-yPacs+zcv da legenda, x é o número de quartos da moradia, y é o número de pisos acima da cota de soleira e z é o número de pisos abaixo da cota de soleira. Nota: Pacs - Pisos acima da cota de soleira.

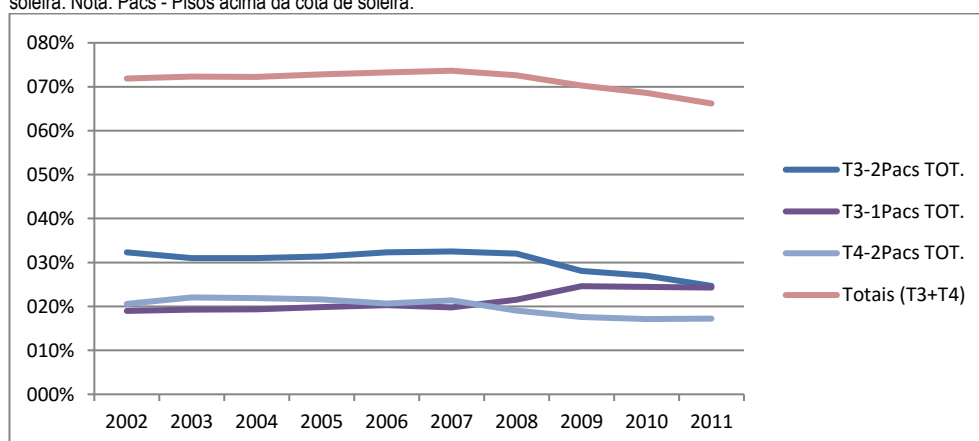


Fig. 107 - Percentagem de moradias novas licenciadas com um fogo, por tipologia, em relação ao número total de moradias novas licenciadas, por ano. Intervalo entre 2002 e 2022 (Dados INE).

A moradia tipo com mais ocorrências teria genericamente as seguintes características: tipologia T3 com 2 pisos sem cave, com uma área bruta média de 228,40m², estacionamento coberto com 0,66 lugares e com uma área total de 243,87m². Estes dados poderiam ser utilizados como referencial para enquadrar o universo do levantamento. No entanto, dada a enorme diversidade da oferta e a dificuldade de encontrar sempre o tipo referido, considerou-se que o foco da recolha deveria incidir genericamente nas moradias T3, observando-se outras tipologias sempre que os aspectos formais ou construtivos fossem singulares e interessantes.

III.B Tipos de projecto

Do ponto de vista da relação do futuro habitante com o projecto de arquitectura, a classificação óbvia distingue o tipo de projecto em soluções de catálogo e soluções personalizadas. Entre estas duas categorias existe um conjunto de possibilidades intermédias classificadas do seguinte modo:

a) Projectos personalizados; b) Projectos de catálogo abertos a adaptação (modelos referenciais); c) Projectos de catálogo personalizáveis por um sistema de componentes e regras; d) Projectos de catálogo personalizáveis por um sistema sistemas de módulos; e) Projectos de catálogo não personalizáveis.

A abordagem arquitectónica das empresas de casas de madeira, consiste em oferecer a casa como um produto cujas soluções estão já parcialmente estudadas e testadas. Assim, uma base importante do marketing consiste na possibilidade de visualização de um conjunto de modelos desenhados ou já construídos que auxiliam o cliente a considerar a variedade de hipóteses, e a escolher o modelo ou o tipo que é mais adequado às suas preferências.

Quanto às características formais dos projectos, considera-se a distinção entre a abordagem tradicional e a contemporânea. A primeira recorre a detalhes, formas e proporções relacionadas com as formas das soluções consolidadas historicamente através de uma linha de continuidade cultural. A segunda perspectiva incorpora detalhes e formas relacionados com uma abordagem abstracta à arquitectura, relacionada principalmente com a rotura histórica estabelecida pelo movimento moderno no início do século XX.

Os tipos estruturais dos projectos dividem-se, segundo a abordagem efectuada no primeiro capítulo em reticulados, porticados, paredes leves e paredes pesadas.

III.C Soluções enquadradas por empresas nacionais

O levantamento efectuado através de consulta aos sítios das empresas portuguesas estará sempre limitado pela circunstância temporal em que este é realizado. As empresas estão em constante dinâmica, actualizando com frequência a sua oferta em termos de produtos, serviços e soluções. O processo normal de evolução do mercado e a competição entre as empresas desactualiza constantemente qualquer recolha e síntese de informação que seja efectuada. É então importante referir que, com muito poucas excepções, a maior parte das informações recolhidas se reportam ao final de 2012.

III.C.1 JULAR

A Jular é uma empresa que se destaca pelo leque de oferta de soluções pré-fabricadas, disponibilizando essencialmente uma gama de cinco soluções de casas, A Treehouse, a Treehouse Riga, as casas kit Treehouse Spot, as casas kit Treehouse Brisa e a Habitação Low Cost (JULAR, Casas modulares Treehouse, 2010a):

A **Treehouse** (JULAR, Treehouse, 2010) é concebida com base num módulo dimensional de 3,30m por 6,60m (cerca de 22m²):

"A partir do módulo base, possibilita-se o crescimento da habitação em extensão e em altura. A Treehouse é fabricada com os produtos de madeira mais avançados do mercado: Kerto® (madeira microlamelada constituída por lâminas de Abeto nórdico ou Pinho), Thermowood® (revestimento de fachada, mas pode ser em madeira de Riga), vigas Finnjoist®, OSB e ligadores metálicos Simpson Strong-Tie®. A cobertura, pavimentos e paredes são concebidos com um sistema multicamadas. Os vãos envidraçados têm uma solução com corte térmico e vidro duplo. Os desperdícios de construção reduzem-se a 2% em comparação com um sistema de construção de alvenaria tradicional. O processo de homologação em curso irá garantir também a certificação a nível europeu (JULAR, Treehouse, 2010).

A Treehouse é fornecida com um dossier completo de projectos necessários para o licenciamento (arquitectura e especialidades, incluindo os projectos térmicos e acústicos). O

cliente decide qual o programa que pretende, mas são os arquitectos e designers da Jular que acompanham e coordenam o processo. Os revestimentos de fachada e interiores apresentam uma diversidade grande de materiais. São propostas as gamas: Ligna (painéis em OSB cru para o cliente revestir a seu gosto), *Pinus*, *Birch* e Sucupira. O prazo normal de entrega de uma Treehouse é de 90 dias. O seu preço varia entre os 800 e os 1.100 Euros/m2 (sem IVA). Incluem-se as infraestruturas de electricidade, esgotos e águas. Não se incluem taxas e licenças, IVA, sondagens, estacas e fundações e o levantamento topográfico.

A empresa apresenta um sítio Internet onde é permitido ao cliente testar diferentes configurações modulares. Apresentam-se 7 tipos de módulos disponíveis: núcleo (cozinha, IS, escadas), quartos, instalações sanitárias, sala, pátio, garagem e lavandaria. Para além desses tipos há variantes que se configuram num total 16 módulos. Apresentam-se para além disso, um conjunto de 28 soluções em planta pré-configuradas, desde as tipologias T0 com apenas dois módulos até soluções T4 com 20 módulos. A empresa refere ainda que os componentes utilizados possuem certificação PEFC

A **Treehouse Riga** é um modelo desenvolvido com base no sistema Treehouse, adaptado a uma nova tipologia mais compacta, direccionada para habitações de área reduzida e com custos controlados. Recorre a dois módulos de 20m2 e não é um projecto evolutivo (ou seja é um "projecto fechado"). O programa inclui dois quartos, sala, cozinha e uma casa de banho. O modelo inclui dois pátios ligados à sala em pontos opostos da habitação. A disposição em planta é flexibilizada através de uma parede de correr que permite ampliar a sala para o quarto menor ou fechá-lo. Os revestimentos são em madeira de Riga pintada e as caixilharias são também em madeira pintada. Os decks são em madeira termicamente modificada *Thermowood*. A arquitectura é da autoria de Appleton & Domingos⁹³.

As casas em **Kit Treehouse Spot** são soluções em madeira, mais económicas e com maior flexibilidade de transporte. A casa cabe num contentor de 20' e o sistema é entregue em kit, fácil de montar em obra (exigindo duas pessoas). Não são necessárias fundações, podendo ser efectuada a montagem sobre pequenos pilares de cimento ou estacas de madeira e os circuitos eléctricos são pré-montados. O revestimento exterior é realizado em painéis cimentícios, podendo ser adaptados à escolha do cliente. A planta tem 20m2 e é direccionada para ser utilizada como refúgios de praia ou de jardim e para o turismo.

A Treehouse **Briza** é fornecida em Kit, com tempos de instalação reduzidos, requerendo também apenas dois homens para a sua montagem. O exterior é revestido com painéis cimentícios que não exigem manutenção. Os circuitos eléctricos são pré montados. A solução foi pensada para tirar partido de um sistema de ventilação natural. Pode ser incluído opcionalmente no programa um alpendre que duplica a zona de estar no exterior.

O sistema de construção modular **SW Lodge** assenta num conceito de painéis modulares padronizados, procurando responder às expectativas daqueles que procuram uma segunda habitação, um espaço de lazer ou até mesmo a construção de um empreendimento turístico. As soluções tipo apresentam-se em três configurações funcionais: T1, T2 e T3. Do ponto de vista das características simbólicas a empresa descreve a abordagem formal como tendo "*uma grande incorporação de design, numa linha rustic chic*". A solução procura responder às seguintes características da procura do mercado: rapidez de montagem, durabilidade,

⁹³ A construção é em pórticos Kerto microlaminado e contraplacado ligado por vigas perpendiculares. O pavimento é em vigas I com alma em OSB. A fachada é ventilada, com duas placas de OSB, isolamento térmico e tela respirante no lado exterior. A cobertura é revestida com telas asfálticas. As infraestruturas são colocadas sob o pavimento.

facilidade de manutenção e versatilidade na escolha dos acabamentos. Dependendo dos acabamentos escolhidos, a montagem de uma casa pode oscilar entre os 3 e os 8 dias.

As habitações **Auzz** compreendem um sistema de construção modular pré-fabricado, destinado a habitação, indústria e turismo, preparado para ser exportado por contentor. São disponibilizados em tipologias de T0 a T4. O sistema baseia-se em componentes normalizados fornecidos em Kits, prontos a montar no local. O painel base incorpora as funções estruturais, os isolamentos térmico e acústico, o revestimento exterior, interior e os caminhos de redes. Permite-se alguma personalização nomeadamente através de uma variedade de soluções de acabamentos de superfícies. Os painéis são de base cimentícia e polimérica. A Jular disponibiliza ainda as Habitações **Lowcost** dirigidas para famílias de baixos rendimentos em processos de habitação social, por exemplo. As casas podem ser fornecidas em *kits* ou segundo o sistema chave na mão.

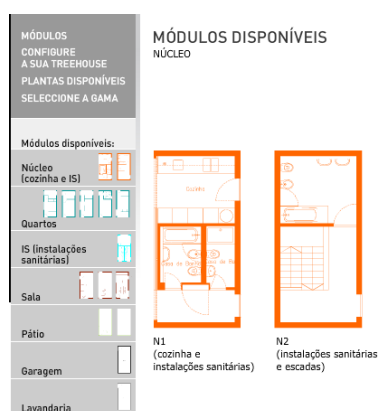


Fig. 108 - Módulos disponíveis para configurações personalizadas dentro do sistema Treehouse (<http://www.treehouse.pt/config.html>).



Fig. 109 - Piso 0 - 8 Módulos - T3A 8 módulos. Área da casa 118,17m², Área de pátio 68,31m² (<http://www.jular.pt>).



Fig. 110 - Treehouse, Cabo da Roca, Appleton & Domingos 2009-10 (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186).



Fig. 111 - Treehouse - Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186).



Fig. 112 - Treehouse Riga Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186).



Fig. 113 - Trihouse Riga Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186).



Fig. 114 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3B - 10 módulos
Casa 141,47m², Pátio 91,08m² (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 115 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3B - 10
módulos Casa 141,47m², Pátio 91,08m²
(<http://www.jular.pt/>).



Fig. 116 - Treehouse - Piso 0 - 8 Módulos - T3 C1 (8+2 módulos.
Casa=166,47m², Pátio=91,08m² (<http://www.jular.pt/>).

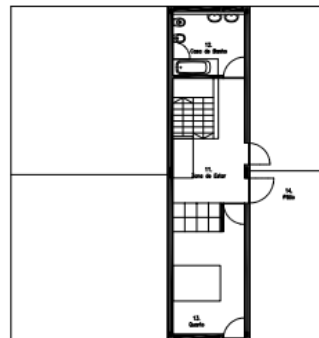


Fig. 117 - Treehouse - Piso 1 - 2 módulos - T3 C1 (8+2
módulos. Casa=166,47m², Pátio=91,08m²
(<http://www.jular.pt/>).



Fig. 118 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3D (10 Módulos).
Casa=164,24m², Pátio=63,31m² (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 119 - Treehouse - Piso 0 - 12 Módulos - T3E (12
Módulos). Casa=187,53m², Pátio=91,08m²
(<http://www.jular.pt/>).



Fig. 120 - Piso 0 - 12 Módulos - T3F (12 Módulos).
Casa=164,76m², Pátio=113,85m² (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 121 - Piso 0 - 12 Módulos - T3G (12 Módulos).
Casa=157,83m², Pátio=91,08m² (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 122 - Piso 0 - 14 Módulos - T3H (14 Módulos). Casa 210,82m², Pátio 113,85m² (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 123 - Piso 0 - 14 Módulos - T3I (14 Módulos). Casa 234,70m², Pátio 91,08m² (<http://www.jular.pt/>).

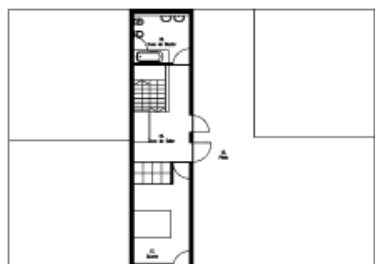


Fig. 124 - Piso 0 - 14 Módulos - T4E (12 Módulos). Área coberta=235,10m², Pátio=91,08m² (<http://www.jular.pt/>).

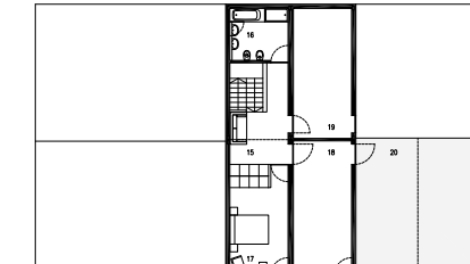


Fig. 125 - Piso 0 - 14 Módulos - T4G (14+4 Módulos). Área coberta=305,18m², Pátio=113,85m² (<http://www.jular.pt/>).

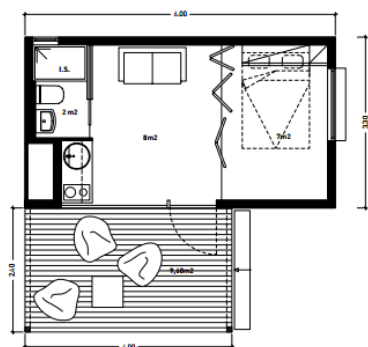


Fig. 126 - Treehouse Spot - Jular (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 127 - Tree House Briza - Jular (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 128 - SW Lodge - Jular (<http://www.jular.pt/>).



Fig. 129 - T3.2.92-83-77A (77m²). Sistema AUZZ
(<http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf>)



Fig. 130 - T3.2.105-87A (87m²). Sistema AUZZ
(<http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf>)



Fig. 131 - T3.3.11-99A (99m²) Sistema AUZZ
(<http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf>)



Fig. 132 - T3.3.99-83A (83m²) Sistema AUZZ
(<http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf>)



Fig. 133 - Sistema AUZZ. (<http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf>)



Fig. 134 - Habitações Lowcost - Jular
(<http://www.jular.pt/pdf/Habitacao-low-cost-PT.pdf>)

III.C.2 CASEMA

A empresa Casema apresenta dois tipos de projecto: à medida e através de catálogo (Casema, 2013). Os projectos de catálogo dividem-se em duas famílias designadas por: "Projectos novo milénio" e "Projectos velho milénio". Disponibilizam-se 18 projectos na primeira família e 16 na segunda. Das tipologias funcionais que interessam para este estudo, estão presentes 11 tipologias T3 de um piso, 2 tipologias T4 de dois pisos e uma T4 de um piso. O tipo simbólico é sempre muito semelhante em todas as ofertas de catálogo uma vez que o sistema estrutural é neste aspecto determinante. As imagens de projectos personalizados apresentam, ao contrário, uma maior diversidade de tipos simbólicos.

Embora a diversidade de soluções funcionais e espaciais oferecidas pela empresa seja ampla, os projectos à medida permitem abordagens mais personalizadas. A oferta da Casema incidia no passado essencialmente no sistema de paredes leves do tipo pilar-prancha, mas recentemente a empresa ampliou o seu leque de oferta com recurso a soluções estruturais de reticulados leves admitindo uma maior variedade de soluções formais arquitectónicas bem como uma gama de preços mais económica.

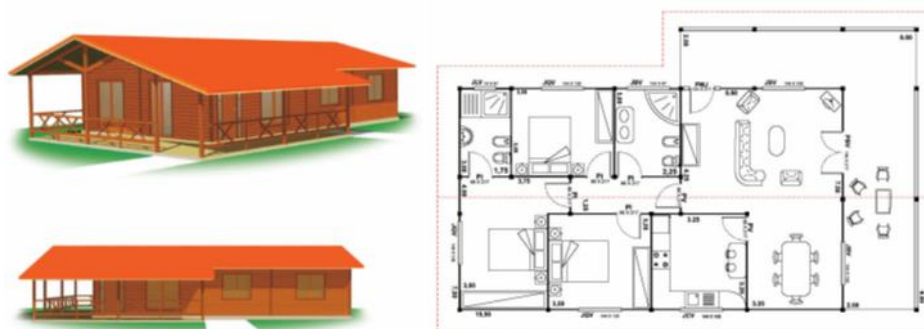


Fig. 135 - Tipologia T3 com 1 piso Casema VM 3170 (<http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/vm-3170.pdf>).

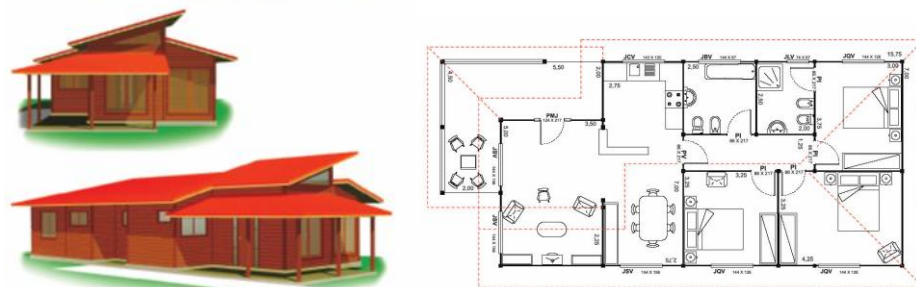


Fig. 136 - Tipologia T3 com 1 piso Casema NM 3160 (<http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3209.pdf>).



Fig. 137 - Tipologia T4 com 2 pisos Casema NM 3209 (<http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3160.pdf>).

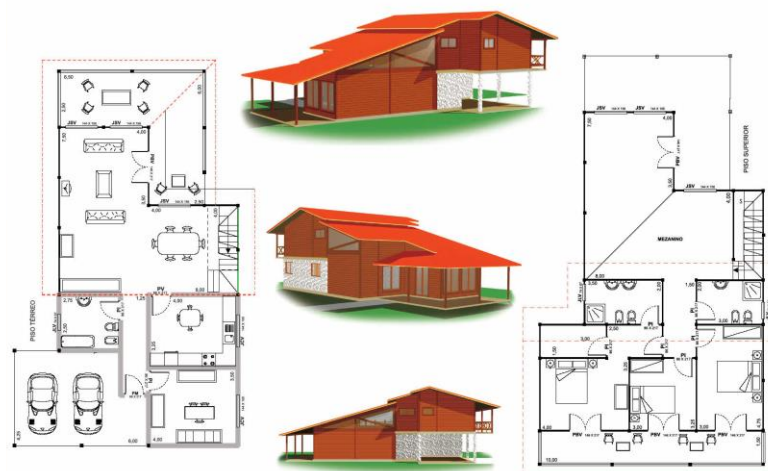


Fig. 138 - Tipologia T4 com 2 pisos Casema NM 3237 (<http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3237.pdf>).



Fig. 139 - Coleção New Wave - Casa I - T3 - Casema (<http://www.casema.pt/catalogo/colecao-new-wave/>).



Fig. 140 - Projecto à medida - Casema (<http://lh6.ggpht.com/-MregbpbFK2U/SQBHJ82atNI/AAAAAAAAADpQ/qlv8Kw10T3c/Pedro%252520Paulo%252520-%2525203D%252520View%2525205.jpg>).



Fig. 141 - Moradia T4 na Foz do Arelho - Casema (<http://www.casema.pt/obras/moradia-t4>).

III.C.3 CARMO

A empresa Carmo apresenta dois tipos de oferta: as soluções construtivas de habitação "chave na mão" e as "casas modulares de madeira - SMEC". O primeiro é um sistema de oferta personalizado, no qual a Carmo assume todo o processo de construção.

O Sistema SMEC (Sistema Modular Evolutivo da Carmo) é disponibilizado através de 11 módulos habitacionais, com dois módulos principais (T0 e T1) "com múltiplas possibilidades de associação e composição" (Carmo, 2012). Pretende-se através desta abordagem que o cliente possa "desenhar a sua própria casa" personalizando-a enquadrada por um sistema que garanta uma abordagem controlada e económica.



Fig. 142 - O Sistema SMEC (Sistema Modular Evolutivo da Carmo) (<http://www.carmo.com/pt/estruturas/casas-de-madeira-modulares-smec-sistema-modular-evolutivo-da-carmo>).



Fig. 143 - Restaurante dos Pescadores Herdade da Comporta (<http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes>).



Fig. 144 - Escritórios Algarve Monteiro - Carmo
(<http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes>).



Fig. 145 - Habitação no Algarve - Carmo
(<http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes>).

III.C.4 RUSTICASA

A Rusticasa, oferece todos os serviços de arquitectura, engenharia e construção para o mercado das habitações unifamiliares. Apresenta um catálogo com sistemas diversos: “Casas de tronco”, “Post&Beam”, “Gama ECO” e outros. Os sistemas construtivos oferecidos são as paredes pesadas de toros, os porticados, os painéis de reticulados leves e os painéis lamelados colados cruzados. Apesar do catálogo disponibilizado aos clientes, refere-se no seu sítio da Internet que na Rusticasa não há modelos normalizados, havendo total flexibilidade para produzir casas de acordo com as exigências específicas de cada cliente (Rusticasa, 2013). Nas suas construções a Rusticasa utiliza principalmente o Pinho nórdico, o Abeto nórdico e a Criptoméria⁹⁴.



Fig. 146 - Post & Beam Mar - Área fechada rés-do-chão 161,24m². Alpendre: 34,94m². Área bruta 196,18m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

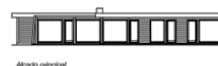
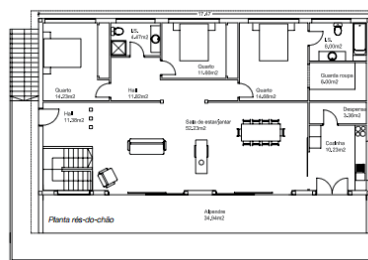


Fig. 147 - Post & Beam Splendia. Área fechada do rés-do chão 125,18 m². Área Bruta 165,88m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

⁹⁴ a) Pinho nórdico (*Pinus sylvestris*), conhecido em Portugal como “Casquinha” e em Espanha como “Pino rojo” (Pinho vermelho).
b) Abeto nórdico, (*Picea abies*), conhecido em Portugal como “Casquinha branca ou Pinho Finlandês”, em inglês é denominado “Spruce”. c) Cedro do Japão, nome científico latim: *Cryptomeria japónica*, conhecido em Portugal como Criptoméria.
(http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=29&lang=pt).



Fig. 148 - Post& Beam Nau. Área fechada do rés-do-chão 90,51 m². Área fechada do andar 67,66m². Área de vazio 22,85m². Área Bruta 158,17m² - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

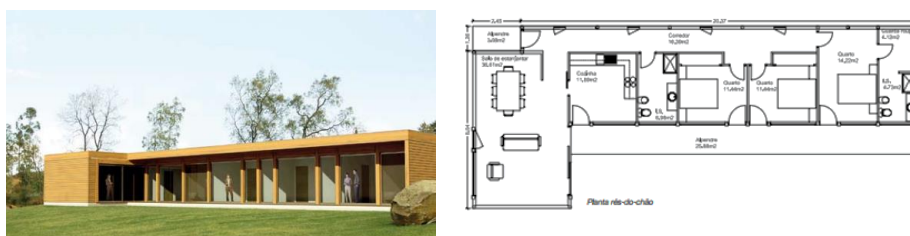


Fig. 149 - Post& Beam Terra. Área fechada do rés-do-chão 134,14 m². Área Bruta 163,10m² - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).



Fig. 150 - Casa de troncos Natura 226. Área fechada do rés-do-chão 104,79 m². Área do andar 90,62m², Área bruta 225,62m² - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).



Fig. 151 - Rustica 203. Área fechada do rés-do-chão 104,08m². Área fechada andar 67,19m², Área bruta 201,34m² - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).



Fig. 152 - Nórdica 186. Área fechada rés-do-chão 81,59m². Área fechada andar: 65,18m², Área bruta 186,03m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

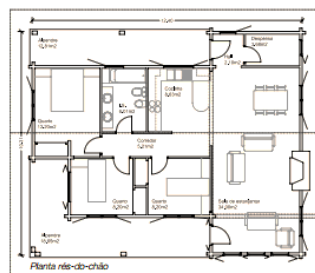


Fig. 153 - Montana 128. Área fechada do rés.do-chão 96,38m², Área bruta 127,84m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

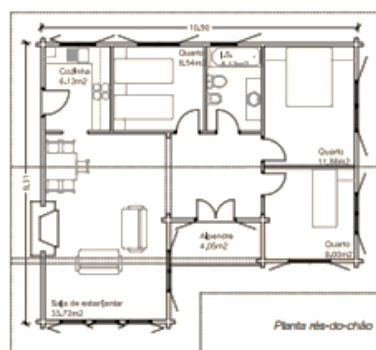


Fig. 154 - Natura 85. Área fechada rés de chão 81,14m². Área bruta 85,19m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).

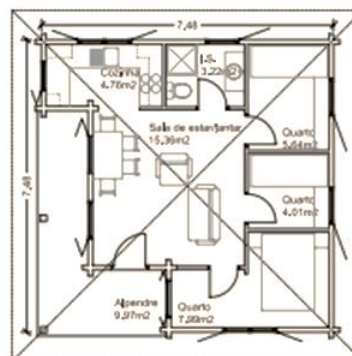


Fig. 155 - Refúgio 55. Área fechada r/c 45,98m² Alpendre: 9,97m², Área bruta: 55,95m² - Rusticasa
(http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).



Fig. 156 - Arcos de Valdevez - Portugal - Rusticasa
(<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151897418908098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater>).



Fig. 157 - Ponte da Barca - Portugal - Rusticasa
(<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151886496513098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater>).



Fig. 158 - Montalegre, Portugal - Rusticasa
(<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151879230863098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater>).



Fig. 159 - Sintra, Portugal - Rusticasa
(<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151822450868098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater>).



Fig. 160 - Zona de Paris, França - Rusticasa
(<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151648999248098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater>).



Fig. 161 - TeePee - Paredes de 4cm espessura, Madeira de Cedro - Rusticasa
(http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=118&catid=10&Itemid=5&lang=pt).

III.C.5 TOSCCA

A empresa Toscca apresenta vários sistemas construtivos e vários processos de projecto. O projecto personalizado e as diferentes possibilidades estéticas (contemporânea e tradicional) são enfatizados na informação da empresa. Os sistemas construtivos oferecidos são quatro: a) o "Painel" de madeira lamelada colada, eventualmente com parede dupla; b) o sistema "Blockhouse" (ou toros) de paredes simples ou duplas; c) o sistema "Pilar/Prancha" com parede dupla; e d) o sistema "Pilar/Viga" (ou porticado) (Toscca, 2010).

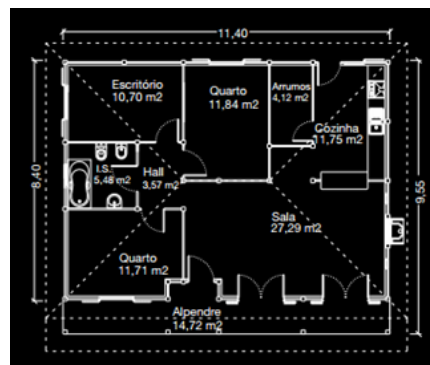


Fig. 162 - Modelo "Toscca Lazer". Área Útil 86,46m². Área Bruta 108,90m² - Toscca (<http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf>).

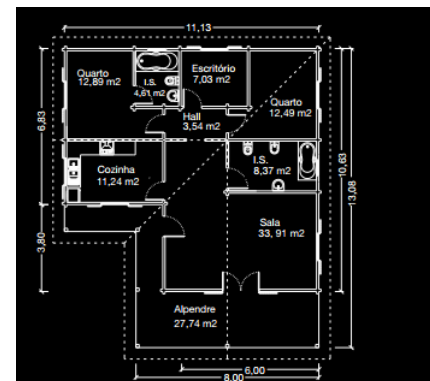


Fig. 163 - Casa da Clama. Área Útil 94,08m². Área Bruta 129,60m² - Toscca (<http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf>).

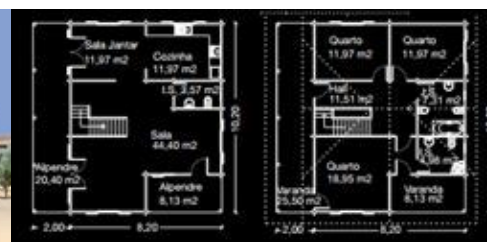


Fig. 164 - Modelo "Toscca Natura". Área útil 138,60m². Área Bruta 208,08m² - Toscca (<http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf>).

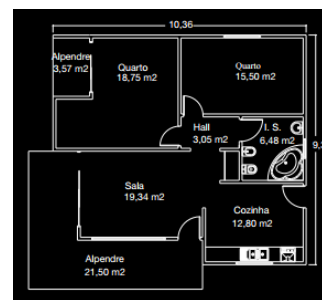


Fig. 165 - Modelo "Toscca Weekend". Área útil 75,92m². Área Bruta 108,82m² - Toscca (<http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf>).

III.C.6 MODULAR SYSTEM

A empresa modular System oferece cinco produtos diferentes desenvolvidos pelo atelier de arquitectura Arquipoito (Modular System, 2013), com as seguintes designações comerciais: Series, Base, Custom, Mobile Home e Nomad.

O sistema Series oferece modelos já testados, com base em módulos pré-definidos: XS, S, M, L, XL. O preço e o prazo de execução são controlados à partida. O sistema Base parte dos módulos base permitindo desenvolver tipologias muito variadas. As células modulares pertencem a três séries dimensionais que têm em comum a largura da célula (2,50m). A série

1 contempla: altura exterior de 2,95m; altura interior de 2,20m; comprimento exterior de 3,50m; comprimento interior de 3,00m. A série 2 contempla: altura exterior de 3,20m; altura interior de 2,45m; comprimento exterior de 4,65m; comprimento interior de 4,05m. A série 3 contempla: altura exterior de 4,25m; altura interior de 3,50m; comprimento exterior de 5,85m; comprimento interior de 5,25m. O sistema Custom é completamente personalizado, não havendo por isso uma pré-definição conceptual nem orçamental como nos restantes sistemas. O sistema Mobile Home consiste em estruturas transportáveis de 42m² (3,50mx12,00m), podendo o espaço interior ser adaptado a variados programas. O sistema Nomad é um abrigo de montanha com 30,40m² (7,80mx3,80m). É uma estrutura que utiliza materiais recicláveis e pretende ser autónoma. Podem ser acrescentados módulos, consoante o programa desejado.

Os materiais podem variar, mas o normalizado inclui madeira Glulam (GL28h segundo a EN1194) em Espruce, com a classe de resistência C30, proveniente das florestas escandinavas aplicado na estrutura e na fachada. As dimensões exteriores das soluções Modular system variam em altura nas dimensões 2,95m, 3,20m, 4,25m, em largura 3,50m, 4,65m, 5,85m. O comprimento é variável em segmentos de 2,50m.

As habitações têm um prazo de entrega e custos variáveis. A Mobile Home, por exemplo é comercializada a partir de 35.000€ e os preços para a solução Nomad variam entre 750€/m² e 1000€/m². Nas tipologias normalizadas e personalizadas os valores mencionados incluem um dossier com projecto de licenciamento, excluindo-se sondagens, levantamento topográfico, licenças, fundações, transporte, montagem, equipamentos de elevação, etc. (Domingos, 2013).

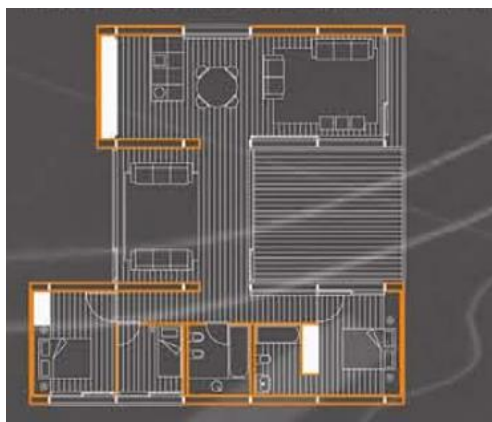


Fig. 166 - Projecto #08 - Modular System (<http://www.modular-system.com/images/1254745733.pdf>).



Fig. 167 - Casa Protótipo 161,51m² - Modular System (Panico, 2007).



Fig. 168 - Sistema Séries - Modular System (<http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=10&l=pt.htm>).



Fig. 169 - Sistema Base - Modular System (<http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=11&l=pt.htm>).



Fig. 170 - Sistema Mobile Home - Modular System
(<http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=4&l=pt.htm>).



Fig. 171 - Solução Nomad - Modular System
(<http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=5&l=pt.htm>).

III.C.7 PORTILAME

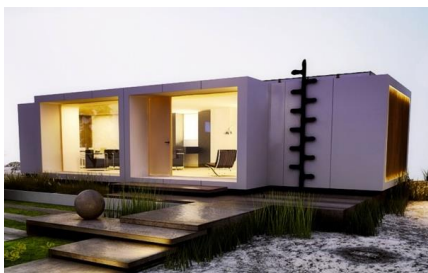


Fig. 172 - Woodenquark - Portilame
(http://www.woodenquark.com/woodenQuark_-_Habitacao_Modular_em_Madeira_-_TEMP/Inicio.html).

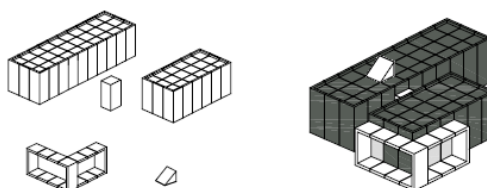


Fig. 173 - Woodenquark - Portilame
(<http://www.portilame.com/documentos/201401232058261390510707.pdf>).

A Portilame presta diversos serviços, incluindo soluções e projectos de especialidade de estruturas de madeira, fabricação e montagem. O seu portfólio inclui moradias unifamiliares. Não apresenta uma oferta de projectos inseridos num catálogo, no entanto desenvolveu um projecto conjunto com a Universidade do Minho - o sistema Woodenquark - que consiste num modelo evolutivo adaptável com estrutura de madeira (Woodenquark, 2013). O sistema foi concebido para que possa haver uma escolha de tipologias personalizáveis por parte do cliente. Os modelos espaço-funcionais pré-definidos contemplam desde o T0 ao T3 e os acabamentos podem variar também em função das preferências do cliente.

III.C.8 IMOWOOD

A Imowood tem um departamento técnico que oferece construções personalizadas em função das necessidades do cliente. Apresenta no entanto dois sistemas conceptuais, as “woodhouse” e as “casas modulares de madeira”. As “woodhouses” dividem-se em três sistemas distintos: “Tropical”, “Nórdico” e “Europeu”.

O sistema Tropical é executado em pranchas de madeira exótica maciça e montantes (e vigamentos de telhado) em madeira exótica lamelada, com paredes em sistema de auto-encaixe, em paredes duplas ou simples. Não são utilizados pregos ou parafusos nas ligações entre componentes. Normalmente as paredes exteriores são duplas com soluções de $45\text{mm}+22\text{mm}=102\text{mm}$ até $70+70\text{mm}=175\text{mm}$. As paredes interiores são de 70mm ou 45mm, podendo também ser duplas. O sistema Nórdico é executado em pranchas de madeira de Pinho nórdico (*Picea abies*) e montantes (e vigamentos de telhado) com paredes em sistema de auto-encaixe em parede dupla ou simples. Não são utilizados pregos ou parafusos nas ligações. Normalmente as paredes exteriores são duplas de $70\text{mm}+70\text{mm}=185\text{mm}$, até $180\text{mm}+95\text{mm}=320\text{mm}$. As paredes interiores são entre 180mm e 70mm, podendo também ser duplas. O sistema Europeu é executado em painéis modulares executados em fábrica. As suas paredes exteriores têm entre 195mm e 300mm de espessura e são revestidas pelo extradorso com argamassas, tela de fibra de vidro, painel OSB, isolamento térmico com cortiça, estrutura de madeira de pinho nórdico. No intradorso, o painel OSB é revestido com um painel de gesso cartonado. Os painéis interiores têm 140mm de espessura.

A empresa apresenta um catálogo com modelos de tipos funcionais desde o T1 ao T5. Quanto aos tipos simbólicos, a Imowood concebeu três famílias distintas: A “Linha moderna”, a “Linha clássica” e a “Linha de cobertura plana”. A “Linha moderna” contempla 2 modelos T1, 4 modelos T2, 8 modelos T3, 3 modelos T4. Na “Linha clássica” apresentam-se 5 modelos T1, 6 modelos T2, 11 modelos T3 e 5 modelos T4, todos com 1 piso. A “Linha de cobertura plana” apresenta 7 modelos T1, 10 modelos T2, 19 modelos T3 (dois deles de dois pisos) e 8 modelos T4, um deles de 2 pisos. As casas modulares de madeira têm por base 7 módulos e 6 variações de dimensão cada um. No total oferecem-se 42 módulos que podem ser compostos de diversas maneiras. Apresentam-se 5 exemplos de configurações do T0 ao T4.

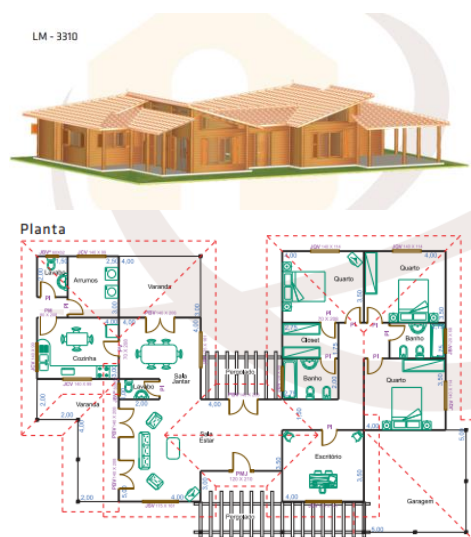


Fig. 174 - T3 Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LM-3310.pdf>).

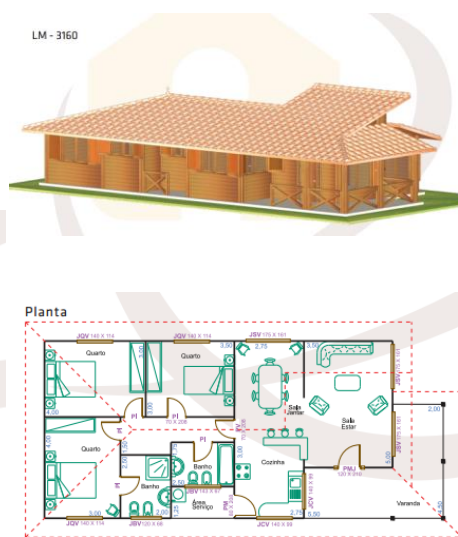


Fig. 175 - T3 Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LM-3160.pdf>).



Fig. 176 - T4 de 2 Pisos, Linha moderna - Imowood (<http://www.imowood.pt/docs/LM-4252.pdf>).



Fig. 177 - T3 de 2 pisos Linha moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LM-3209.pdf>).

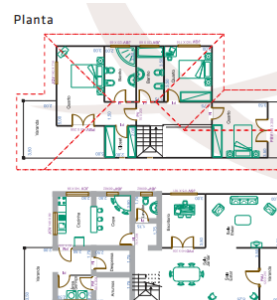


Fig. 178 - T3, Linha Clássica - Imowood (<http://www.imowood.pt/docs/LC-3150.pdf>).

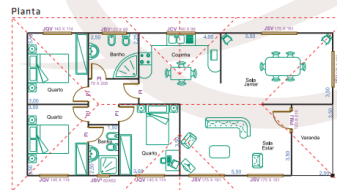




Fig. 179 - T3 Linha Clássica - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LC-3280.pdf>).

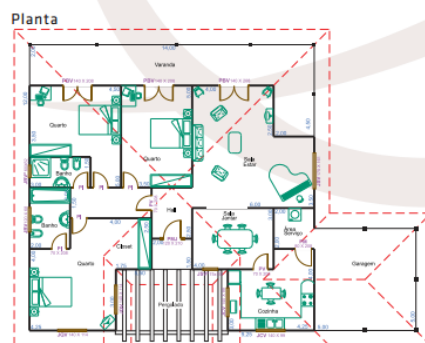


Fig. 180 - T3 de 2 pisos Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LM-3209.pdf>).

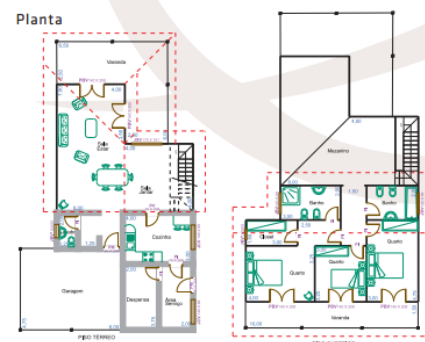


Fig. 181 - T2 de 1 piso. Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LP-3150.pdf>).

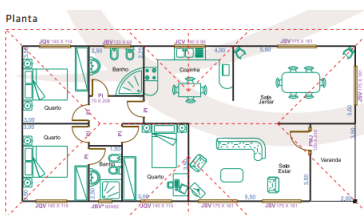


Fig. 182 - T3 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LP-3209.pdf>).

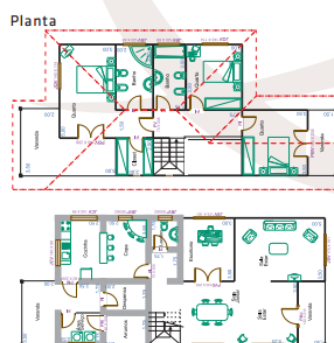


Fig. 183 - T3 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood
(<http://www.imowood.pt/docs/LP-3237.pdf>).

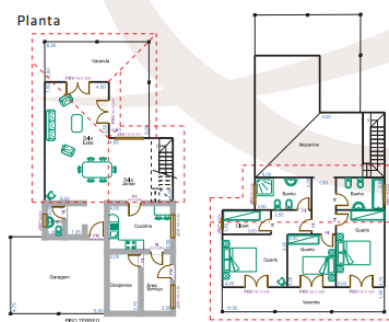




Fig. 184 - T3 de 1 Piso. Linha Moderna - Imowood (<http://www.imowood.pt/docs/LP-3310.pdf>).



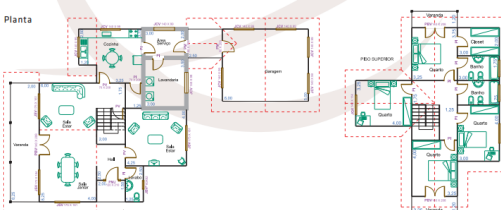
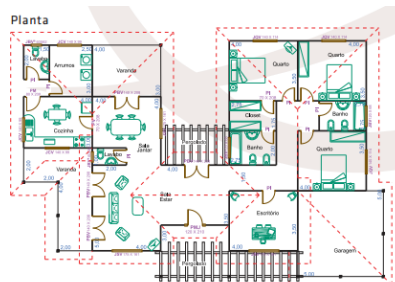
Fig. 185 - T4 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood (<http://www.imowood.pt/docs/LP-4252.pdf>).



Fig. 186 - Casas modulares. Modelo T3 - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/modular_T3.pdf).



Fig. 187 - Casas modulares. Modelo T4 - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/modular_T4.pdf).



III.C.9 TISEM

A Tisem é uma empresa de projecto de estruturas de madeira e fornecimento de painéis de madeira lamelada colada (representante da empresa Austríaca KLH), estando vocacionada para apoiar os projectos e as obras. Realizou uma moradia unifamiliar para a qual forneceu o projecto das especialidades, os painéis e acompanhou a obra.



Fig. 188 - Moradia em Alcanena - Casa unifamiliar EJ, 2009 (<http://www.disporurbe.pt/portfolio/casa-unifamiliar-ej>).

A Tisem projectou a estrutura e forneceu os painéis para uma moradia em Alcanena onde se integrou pela primeira vez nesta tipologia em Portugal o sistema de painéis CLT. As paredes exteriores e as interiores com função estrutural são construídas com os painéis, sendo as restantes em painéis de gesso cartonado. Optou-se por deixar os painéis à vista em duas zonas interiores da moradia. A aparência da moradia não é distinta das moradias construídas com estruturas de betão armado, contemplando um revestimento exterior integrando isolamento térmico (sistema ETICS).

III.C.10 NOVOHABITAT

A empresa NovoHabitat comercializa quatro classes de produtos de habitação, as “casas de madeira”, as “vivendas modulares”, a “mobil home” e a “casa ecológica”. As “casas de madeira” são apresentadas num catálogo de soluções dividido por tipologias funcionais desde o T1 ao T4, embora possam ser fabricadas a partir de soluções personalizadas. Os sistemas construtivos das casas de madeira, fabricadas pela empresa espanhola Carbonell, têm por base painéis de parede reticulados, preenchidos com isolamento térmico, revestimento exterior de madeira de abeto nórdico com perfil curvo de 146mmx24mm, perfazendo uma parede com uma espessura total de 150mm. Estas casas são consideradas pela empresa como “amovíveis”. As “vivendas modulares” são apresentadas num catálogo com duas famílias de base, a “linha moderna” e a “linha clássica”, com tipologias funcionais desde o T2 ao T4. A solução construtiva das paredes consiste numa estrutura de painéis reticulados isolados pelo interior, com uma placa de contraplacado pelo exterior e uma camada de cortiça pintada, sendo o interior revestido com uma placa de fibras e gesso tipo “fermacell”. As “mobil homes” ou “caravanas residenciais” são equiparadas a *roulottes* ou caravanas uma vez que são construídas sobre um chassis metálico. São disponibilizados vários modelos com tipologias funcionais entre o T1 e o T3. A “Casa ecológicas” é concebida para responder à procura de habitações eficientes energeticamente e de baixo impacto ambiental.



Fig. 189 - Coleção “casas de madeira”, Modelo Goiabeira, tipo T3 (área 72m², € 61.265). Coleção “casas de madeira”, Modelo Cerejeira, tipo T3 (área 99m², € 65.533) - Novo habitat (<http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html>).



Fig. 190 - Coleção “casas de madeira”, Modelo Faia A, tipo T3 (área 88m², € 73.641). Coleção “casas de madeira”, Modelo Marmeleiro, tipo T3 (área 74m², € 63.766) - Novo habitat (<http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html>).



Fig. 191 - Coleção Mobil Homes, modelo Porto Covo, tipo T3, área 40m², €38.799 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/mobil_cat.html).



Fig. 192 - Linha Clássica, modelo Lisboa, T3, 131m², € 127.646 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3.html).



Fig. 193 - Linha Clássica, modelo Evora, T3, 103m², € 103.319 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3.html).



Fig. 194 - Linha Moderna, modelo Sintra, T3, 105m², € 101.648 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html).



Fig. 195 - Linha Moderna, modelo Sagres, T3, 105m², € 105.401 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html).



Fig. 196 - Linha Moderna, modelo Tavira, T3, 116m², €102.772 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html).

III.C.11 LACECAL

A Lacecal apresenta três tipos de abordagem em relação ao projecto de arquitectura: o projecto personalizado concebido na Lacecal, a escolha de uma tipologia designada comercialmente por CED (Casa Eco Design) e o apoio ao projecto sob a forma de consultoria técnica junto de autores exteriores à Lacecal.

As CED são concebidas segundo uma estrutura geométrica modulada e são pré-fabricadas. A Lacecal apresenta soluções pré-definidas de quatro casas em série T0, T1, T2 e T3, pensadas para incorporar equipamentos de poupança energética: aproveitamento das águas pluviais, reutilização de águas domésticas e painéis solares. O tempo previsto para a execução de uma CED#3 (107m²) são dois meses.



Fig. 197 - Projecto personalizado: Casa em Penha Flor - Lacecal e Plataforma de Arquitectura - Lacecal (http://www.lacecal.pt/pages/arquitectura/personalizada/casa_penha_flor/).



Fig. 198 - CED Casa eco design CED#3 T3 - Área Bruta 107,20m². Área útil 98,10m² - (Lacecal e Plataforma de Arquitectura) (http://www.lacecal.pt/pages/arquitectura/em_serie/casa_eco_design/).

III.C.12 IDEAWOOD

A “Ideawood - Innovative design solutions”, é uma empresa de construção em madeira que apresenta um portfólio de soluções que podem ser utilizadas como referenciais. Normalmente as soluções são personalizadas. Nas soluções construtivas destaca-se a utilização de madeira de Pinho nacional em alguns projectos já executados.



Fig. 199 - Construções IDEAWOOD (<http://www.ideawood.pt/index.php/casas-de-madeira-6>).

III.C.13 ALCOMATE

A empresa Alcomate-carpintaria desenvolveu um sistema de blocos de madeira lamelada para construção com alvenaria estrutural: o WBH (Wood Block House). O produto foi aperfeiçoado a partir de 2010 em parceria com o Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Os blocos de madeira são fabricados em secções variáveis, sendo o mais comum o bloco de 50cmx10cmx20cm (comprimento, altura, espessura). Os blocos são fixos entre si por parafusos auto-roscantes, montados em fiadas com juntas verticais desencontradas e seladas com peças de PVC. Segundo a empresa, o prazo de fabrico e fornecimento dos módulos para uma habitação T1 é de 90 dias e a montagem da casa é efectuada no prazo de duas a três semanas (Alcomate Carpintaria e materiais de construção Lda, 2014).

A empresa apresenta três soluções tipo (T1, T2, T3), com áreas brutas interiores de 90m², 126m² e 150m². Não é referido pela empresa, mas o T1 é a solução base a partir da qual evoluem o T2 e T3. Em alternativa às soluções normalizadas, a empresa oferece soluções personalizadas. Do ponto de vista da forma arquitectónica as habitações unifamiliares propostas assumem um tipo simbólico contemporâneo, com cobertura plana e revestimentos em madeira, tirando-se partido nos espaços interiores dos blocos à vista.



Fig. 200 - Planta Tipo T3 Área bruta interior 150m². Área Bruta exterior coberta 62m². Área Bruta total 212m² - Alcomate (http://www.alcomate.pt/docs/plantas_tipologias_carimbo.pdf).

III.C.14 CASA MIMA

"O produto-base de comercialização é a casa MIMA de 36m² de área útil. A casa MIMA possui planta regular de 7,57mx7,57m. A área bruta da casa, ou seja, contabilizando o perímetro exterior da casa, é de 57 m². A área habitável da casa é de 36m² delimitados por um quadrado de 6,00mx6,00m. O pé direito interno da casa é de 2,40m e a altura total da casa é de 3,00m." (MIMA, 2012).

A casa Mima contempla um sistema de compartimentação flexível através de um conjunto de calhas metálicas e painéis amovíveis dispostos segundo uma malha em planta de 1,50mx1,50m. Os tipos funcionais previstos variam entre o T1 e o T2. Também o contentor exterior é personalizável, sendo permitido obter uma envolvente mais opaca ou mais transparente. A estrutura é em madeira de pinho lamelada (sistema porticado) com os pilares colocados em cada vértice da casa, sem necessidade de recorrer a pilares intermédios.

O tempo de execução de uma casa Mima padrão é de um mês, sendo o tempo de montagem de quatro dias. O preço base é de 39.900€, incluindo os projectos de arquitectura e especialidades para o licenciamento e a montagem (MIMA, 2012). O preço previsto para o transporte em Portugal continental deverá ter como limite máximo os 900€ (Domingos, 2013).

A estrutura é executada em madeira de Pinho lamelado revestido com painéis de aglomerado marítimo e OSB, podendo no entanto estes acabamentos ser objecto de personalização. Os caixilhos utilizados são também de madeira.

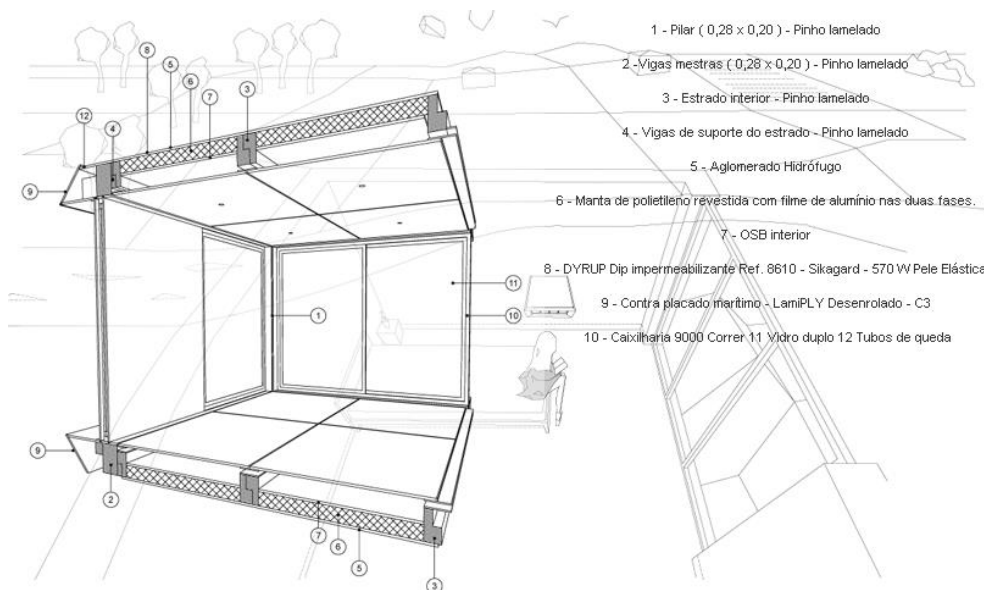


Fig. 201 - Corte esquemático da solução construtiva de uma casa MIMA (<http://www.mimahousing.pt/technical.html>).



Fig. 202 e Fig. 203 - Planta e alçado de uma casa MIMA e protótipo (<http://www.mimahousing.pt/gallery.html>).

III.C.15 CASAS EM MOVIMENTO

O projecto “Casas em movimento” ou “Cem+nem-” (Team cem+nem-, 2013) foi concebido pelo Arquitecto Vieira Lopes da Faculdade de Arquitectura do Porto. É um projecto com estrutura de madeira, revestido a cortiça e com uma pala móvel revestida a painéis fotovoltaicos e colectores solares. Prevê-se o movimento de rotação da casa e da pala de forma a otimizar a produção de energia. Representou Portugal no concurso Solar Decathlon.



Fig. 204 - Perspectiva e foto da Casa em Movimento apresentada no Solar Decathlon (<http://www.mimahousing.pt/concept.html>).

III.D Conclusões

Quanto ao tipo de oferta conclui-se que todas as empresas oferecem os seus produtos contemplando a hipótese de desenvolvimento de soluções personalizadas. De qualquer modo, a personalização é em princípio entendida como uma variação do sistema ou dos sistemas construtivos desenvolvidos pelas próprias empresas. Algumas delas oferecem também sistemas personalizáveis com base em componentes ou módulos. São normalmente estas as empresas que apostam numa caracterização arquitectónica contemporânea, talvez porque as formas mais abstractas (com coberturas planas, ritmos de fachada modulados e vãos com a dimensão dos painéis de fachadas) se prestem a uma mais fácil coordenação modular. Raramente se apresentam modelos rígidos, tendo por base soluções apuradas para oferecer a máxima economia, e quando surgem incidem sobre tipos funcionais mínimos.

Em relação aos tipos formais há uma clara distinção entre as empresas que oferecem exclusivamente um catálogo de soluções tradicionais e as que apostam unicamente em soluções contemporâneas. No entanto as empresas que têm por base uma oferta de casas tradicionais, parecem surgir cada vez mais com uma oferta alternativa de modelos contemporâneos para poderem diversificar o seu mercado. Nota-se ainda uma diferença clara entre os tipos de projectos contemporâneos, concebidos com resultados convincentes, e os projectos de características contemporâneas, em que o compromisso com as soluções tradicionais se nota nas proporções e nos pormenores. Por fim, refira-se que não se pode afirmar em absoluto que há uma linguagem arquitectónica associada à construção em madeira (entendida genericamente), uma vez que esta questão está dependente dos sistemas construtivos adoptados. Poderá considerar-se entretanto, que a identidade arquitectónica da construção em madeira é diferente em cada sistema construtivo e que em alguns dos sistemas só através de uma análise global, que contemple também os espaços interiores, será possível perceber as características singulares da "arquitectura de madeira". Sendo assim, serão os sistemas tradicionais de toros e de pranchas e montantes aqueles que mais conseguem afirmar um carácter arquitectónico próprio. Porém os sistemas porticados e os sistemas de painéis de lamelados colados permitem também retirar partido arquitectónico da estrutura, se deixada à vista, no entanto o resultado não será tão divergente do de outras tecnologias como o conseguem ser os sistemas de toros e de pranchas.

Os tipos estruturais, ainda que nem sempre aparentes, por vezes são referenciados pelas empresas para distinguir as séries (famílias) apresentadas nos catálogos. Através da análise efectuada, percebe-se que a solução estrutural é determinante da solução formal apenas nos sistemas de toros e de pilares e pranchas. Observa-se também que as soluções que integram porticados são aquelas que são mais utilizadas em abordagens contemporâneas. Embora não seja muito comum as empresas referirem-se explicitamente aos sistemas construtivos, as empresas Rusticasa e a Toscca são aquelas em que a apresentação ao cliente permite estabelecer directamente a relação entre sistema formal e sistema construtivo através das suas designações: "Casas de tronco"; "Post&Beam"; "Painel"; "Blockhouse"; "Pilar/Prancha"; "Pilar/Viga". A distinção das várias colecções de catálogo com base nos sistemas construtivos surge, por exemplo, também na Casema, na Imowood e na Novo Habitat. Em empresas como a Jular, a Carmo, a Modular System, e a Portilame, provavelmente por se focarem em abordagens mais contemporâneas e por recorrerem preferencialmente aos sistemas de porticados e reticulados leves, não referem as diferenças entre os vários sistemas construtivos. Quanto ao tipo estrutural de painéis pesados de lamelados colados cruzados, apesar de haver várias empresas a referir a sua oferta, parece ser apenas a Tisem a que mais se tem envolvido na sua divulgação.

IV EXIGÊNCIAS REGULAMENTARES

IV.A Uso (Capacidade, Funcionalidade, Acessibilidade)

IV.A.1 REGULAMENTO GERAL DAS EDIFICAÇÕES URBANAS

O Regulamento Geral das Edificações Urbanas (REGU) (Portugal, 2008) com as alterações introduzidas até 2008 estabelece as disposições que regulam a execução de novas edificações em geral, abrangendo por isso as casas de madeira. Cabe às Câmaras Municipais conceder as licenças necessárias à execução das obras e cabe-lhes também fixar os limites da isenção de licença prevista no art.º 2.º, para obras de pequena importância.

Os produtos de construção em Portugal devem obedecer ao estipulado no n.º 3 do art.º 17.º cuja redacção é a seguinte⁹⁵:

“A utilização de produtos da construção em edificações novas, ou em intervenções, é condicionada, nos termos da legislação aplicável, à respectiva marcação CE ou, na sua ausência, sem prejuízo do reconhecimento mútuo, à certificação da sua conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal” (Portugal, 2008).

No número seguinte, diz-se que:

“A certificação da conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal pode ser requerida por qualquer interessado, devendo sempre ser tidos em conta para o efeito os certificados de conformidade com especificações técnicas em vigor em qualquer Estado membro da União Europeia, na Turquia ou em Estado subscritor do acordo do espaço económico europeu, bem como os resultados satisfatórios nas inspecções e ensaios efectuados no Estado produtor, nas condições previstas no n.º 2 do artigo 9.º do Decreto-Lei n.º 113/93, de 10 de Abril”⁹⁶ (Portugal, 2008).

O n.º 5 deste artigo diz que no caso de produtos de construção que não preencham nenhuma das condições estabelecidas no n.º 3:

“e sempre que a sua utilização em edificações novas ou intervenções possa comportar risco para a satisfação das exigências essenciais indicadas no n.º 1, fica a mesma condicionada à respectiva homologação pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (...)” (Portugal, 2008).

As exigências referidas são:

“(...) a resistência mecânica e estabilidade, de segurança na sua utilização e em caso de incêndio, de higiene, saúde e protecção do ambiente, de protecção contra o ruído, de economia de energia, de isolamento térmico e das demais exigências estabelecidas no presente Regulamento ou em legislação específica, nomeadamente de funcionalidade, de durabilidade e outras” (Portugal, 2008).

Em resumo, os produtos de construção devem ter a marcação CE ou um certificado de conformidade com as especificações técnicas nacionais. A certificação da conformidade deve ser requerida pelos interessados ao LNEC. No caso de produtos que não tenham nem marcação CE nem certificado de conformidade, o seu uso fica condicionado à homologação pelo LNEC.

Sobre a madeira como produto e material de construção, o RGEU reflecte ainda uma situação em que o seu uso estava limitado apenas aos pavimentos e às coberturas. O Capítulo III sobre as paredes, menciona explicitamente materiais de construção como o tijolo, a pedra, o betão armado e estruturas metálicas. Estabelece requisitos para estes materiais, mas ignora as soluções em madeira. O artigo 24.º faz uma referência aos requisitos das paredes de edificações de carácter permanente, estabelecendo que se usarão materiais que ofereçam “suficientes condições de segurança e durabilidade”. Ou seja, ainda que não se refira a madeira, parece estar implícito no sentido original deste artigo que a madeira seria um

⁹⁵ Redacção do artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 50/2008, de 19 de Março (revogou a anterior redacção: Decreto-Lei 290/2007, de 17 de Agosto).

⁹⁶ O Regulamento dos Produtos de Construção vem tornar este artigo 17.º em parte obsoleto. O artigo 17.º condiciona a utilização de produtos de construção à marcação CE ou à certificação de conformidade e referencia-se no Decreto-Lei que transpõe a anterior Directiva 89/106/CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, entretanto revogada pelo Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011.

material a não utilizar em construções de “carácter permanente”. As preocupações com a combustibilidade da madeira surgem no art.º 11.º onde se refere a madeira como um material (“qualquer peça de madeira”) que deve ser afastado de chaminés (de cozinhas ou aparelhos de aquecimento) e condutas de fumo⁹⁷.

No capítulo IV sobre as exigências dos pavimentos e coberturas, o art.º 36.º apresenta especificações para estruturas de madeira:

“As estruturas dos pavimentos e coberturas das edificações serão construídas de madeira, betão armado, aço e outros materiais apropriados” (Portugal, 2008).

O art.º 37.º refere-se especificamente aos pavimentos de madeira para habitações, referindo-se que não são consentidas secções transversais de vigas inferiores a 0,16mx0,08m ou equivalente a essa secção em termos de resistência e rigidez. O afastamento entre eixos correspondente a esta secção não deve ser superior a 0,40m e sempre que o vão estrutural for superior a 2,50m as vigas deverão ser tarugadas. O art.º 38.º considera que se podem empregar sem outra justificação para as coberturas com inclinações entre 20º e 45º, apoiadas sobre estrutura de madeira as secções seguintes desde que não se excedam as distâncias máximas indicadas:

- Para as madres, uma secção de 16cmx8cm e distância máxima de 2,00m;
- Para as varas com telha tipo Marselha, uma secção 10cmx5cm e distância de 0,50m;
- Para as varas com telha tipo canudo, uma secção de 14cmx7cm e distância de 0,40m;
- Para as ripas com telha tipo Marselha, uma secção de 3cmx2,5cm.

Também estão presentes especificações relacionadas com a durabilidade, tanto ao nível de tratamento como de disposições construtivas. No art.º 39.º prescreve-se a protecção dos topos das vigas de estruturas de pavimentos e coberturas a introduzir nas paredes de alvenaria com *“induto ou revestimento apropriados”* de forma a impedir o seu *“apodrecimento”*, sempre que não tenham tratamento prévio. No art.º 40.º prescreve-se para os pavimentos dos andares térreos, quando a sua estrutura for de madeira, uma *“caixa-de-ar com uma altura mínima de 0,50m”* para promover a ventilação transversal, assegurada por aberturas nas paredes, incluindo dispositivos para impedir a entrada de animais ou objectos.

Na definição dos pés-direitos das habitações, na concepção da estrutura de pavimento é importante ter em atenção que conforme o n.º 1 do artigo 65.º o pé-direito livre mínimo deve ser maior ou igual a 2,40m, aceitando-se excepcionalmente 2,20m em vestíbulos, corredores, instalações sanitárias, despensas e arrecadações. Quando existirem vigas nos tectos, o pé direito livre pode descer aos 2,20m em 20% da superfície do tecto.

No caso de sótãos e águas furtadas, segundo o art.º 79, estas poderão ser utilizadas como habitação quando, para além de satisfazerem as condições de salubridade previstas no RGEU:

“tenham o pé-direito mínimo regulamentar só em metade da sua área, não podendo, porém, em qualquer ponto afastado mais de 30 centímetros do perímetro do compartimento, o pé-direito ser inferior a 2,00m” (Portugal, 2008).

⁹⁷ Até 2008, o art.º 115.º (revogado pelo Decreto Lei n.º 220/2008, de 12 de Novembro) interditava o emprego de colmo ou outros materiais combustíveis no revestimento de coberturas de edificações, com excepção de pequenas dependências afastadas de qualquer habitação.

IV.A.2 REGIME JURÍDICO DA URBANIZAÇÃO E DA EDIFICAÇÃO

As casas de madeira enquadram-se no conceito geral de “edificação” e a sua construção enquadra-se também no conceito de “obras de construção” tal como estabelecido no Regime Jurídico da Urbanização e da Edificação (RJUE) (Portugal, 2010a):

“Edificação” é definida no artigo 2.º como “a actividade ou o resultado da construção, reconstrução, ampliação, alteração ou conservação de um imóvel destinado a utilização humana, bem como de qualquer outra construção que se incorpore no solo com carácter de permanência” (Portugal, 2010a).

É definido ainda o conceito de “Obras de escassa relevância urbanística” como:

“(…) as obras de edificação ou demolição que, pela sua natureza, dimensão ou localização tenham escasso impacto urbanístico” (Portugal, 2010a).

As operações urbanísticas, como a construção de uma casa de madeira, estão sujeitas a controlo prévio, podendo revestir as modalidades de licença administrativa ou comunicação prévia. A primeira tem lugar se (alínea c do artigo 4.º) a operação estiver prevista para uma área não abrangida por operação de loteamento ou por plano de pormenor. Estão sujeitas a comunicação prévia as obras de construção em área abrangida por operação de loteamento ou plano de pormenor, ou situadas em zona urbana consolidada que respeite os planos municipais e as cêrceas existentes ou ainda situadas em determinadas zonas sujeitas a servidões administrativas.

As situações de isenção de controlo prévio são estabelecidas no artigo 6.º, contemplando-se na alínea c) as “obras de escassa relevância urbanística”. O artigo 6.º-A define obras de escassa relevância urbanística, incluindo-se pequenas edificações, não superiores a 10m², muros de vedação, estufas, pequenas obras de arranjo, equipamento lúdico, pequenas demolições, pequenas instalações de painéis solares e geradores eólicos, substituição de materiais de revestimento idênticos aos originais e outras obras definidas nesta categoria através de regulamento municipal. Uma casa de madeira não é portanto, segundo o RJUE, uma obra de escassa relevância urbanística.

Não se encontrou nenhum Regulamento Municipal em Portugal que considere a construção de casas de madeira como isentas de controlo prévio. No entanto, há um acórdão do tribunal da relação de Évora que considerou que:

“A implantação de um barracão de madeira, numa área aproximada de 60 m², constituído por diversas construções adquiridas como se se tratassem de “abrigos de jardim” que foram colocados de forma justaposta, alguns dos quais com ligação interna, os quais se encontram apoiados sobre um estrado de madeira e este, por sua vez, sobre vigas colocadas sobre o solo, não está sujeita a licença administrativa” (IGFEJ-IP, 2013).

A lógica seguida pelos Juízes foi a seguinte: Segundo o RJUE, estão sujeitas a licença administrativa a obras de construção. Obras de construção são obras de criação de novas edificações e uma edificação é a actividade de construção de um imóvel destinado a utilização humana, bem como qualquer outra construção que se incorpore no solo com carácter de permanência. O conceito de imóvel foi associado à incorporação no solo de qualquer edifício ou construção com carácter de permanência (“uma coisa móvel pode ser transportada para outro sítio sem se deteriorar” - cfr. artº 204º, nº 3 do C. Civil). Assim, o barracão em causa constituído por diversas construções apoiados por um estrado de madeira sobre vigas colocadas sobre o solo, não foi considerado como imóvel. Os juízes consideraram então ser a construção de madeira uma coisa móvel sem haver incorporação no solo. Sobre a noção de “actividade de construção”, os juízes observaram ainda que uma construção pré-fabricada não deveria ser considerada um imóvel:

“Por outro lado, até em termos terminológicos não se vê como a instalação de “construções adquiridas” possa constituir uma “edificação” (IGFEJ-IP, 2013).

No entanto, parece haver aqui uma interpretação algo superficial da situação. As referidas vigas estariam mesmo simplesmente apoiadas no solo? Não haveria incorporação no solo de infraestruturas? Por outro lado, a montagem de elementos pré-fabricados ficaria neste entendimento fora do conceito de actividade construtiva. Finalmente, será que a construção respondia aos requisitos do art.º 17º do RGEU referente à marcação CE, certificação ou homologação dos produtos de construção?

A Câmara Municipal de Lagoa por exemplo, define no seu Regulamento Municipal (Portugal, 2010c) as “obras de escassa relevância urbanística”, incluindo “construções de madeira, amovíveis de apoio a actividades agrícolas ou de jardinagem” desde que cumpram as seguintes condições: área até 12m², revestimento natural de madeira ou pintura branca, cerca até 2,20m, alteração de terreno inferior a 4m³, afastamento de 3m aos prédios vizinhos, afastamento à via pública não inferior ao da habitação em zonas urbanas ou urbanizáveis. Não são no entanto contempladas construções para habitação.

O artigo 10.º do referido Regulamento estabelece a obrigatoriedade de acompanhar o requerimento ou comunicação de obras com a declaração dos autores dos projectos:

“da qual conste que foram observadas, na elaboração dos mesmos, as normas legais e regulamentares aplicáveis, designadamente as normas técnicas de construção em vigor, e do coordenador dos projectos, que ateste a compatibilidade entre os mesmos” (Portugal, 2010c).

No n.º 3 deste artigo, determina-se que:

“só podem subscrever projectos os técnicos legalmente habilitados que se encontrem inscritos em associação pública de natureza profissional e que façam prova da validade da sua inscrição aquando da apresentação do requerimento inicial”⁹⁸ (Portugal, 2010c).

Na secção IV - Utilização e conservação do edificado, o n.º 1 do artigo 89.º (“Dever de conservação”) obriga as edificações a serem sujeitas a obras de conservação pelo menos uma vez em cada período de oito em oito anos” para além das obras que sejam necessárias para garanti a segurança, salubridade e “arranjo estético”.

IV.A.3 REGIME DA ACESSIBILIDADE AOS EDIFÍCIOS E ESTABELECIMENTOS

As condições de acessibilidade a satisfazer nos edifícios de habitação são definidas pelo Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto através de Normas Técnicas de Acessibilidade (Portugal, Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos, 2006).

A noção de “percurso acessível” é aquela que parece condicionar mais as casas de madeira que por questões de durabilidade, normalmente estabelecem cotas de piso elevadas relativamente ao piso do terreno exterior. Na secção 2.1 do Capítulo 2, lê-se que:

“Os edifícios e estabelecimentos devem ser dotados de pelo menos um percurso, designado de acessível, que proporcione o acesso seguro e confortável das pessoas com mobilidade condicionada entre a via pública, o local de entrada/saída principal e todos os espaços interiores e exteriores que os constituem” (Portugal, 2006).

O referido “percurso acessível”, nas moradias aplica-se, até à entrada nos espaços interiores da habitação, podendo as escadas existir se forem complementadas por rampas ou plataformas elevatórias (2.2.11). As rampas devem ter uma inclinação inferior a 6%, vencendo desníveis inferiores a 0,60m, com projecções horizontais inferiores a 10,00m (n.º1 do 2.5.1). Em alternativa, podem ter inclinações inferiores a 8%, mas apenas se vencerem desníveis inferiores a 0,40m e se tiverem projecções horizontais não superiores 5,00m” (n.º2 do 2.5.1). Sempre que o desenvolvimento das rampas seja superior ao estipulado, devem contemplar-se patamares intermédios.

⁹⁸ O n.º 2 do art.º 10.º do regime jurídico que estabelece a qualificação profissional exigível aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projectos, pela fiscalização de obra e pela direcção de obra, estabelece que: “Os projectos de arquitectura são elaborados por arquitectos com inscrição válida na Ordem dos Arquitectos” (Portugal, 2009).

Os ressaltos no piso (secção 4.8) devem contemplar os seguintes tratamentos (4.8.2): 1) Com uma altura não superior a 0,005 m, podem ser verticais e sem tratamento do bordo; 2) Com uma altura não superior a 0,02 m, podem ser verticais com o bordo boleado ou chanfrado com uma inclinação não superior a 50%; 3) Com uma altura superior a 0,02 m, devem ser vencidas por uma rampa ou por um dispositivo mecânico de elevação.

Na área privativa do fogo não será necessário contemplar um percurso acessível. Embora em 2.1.1 se estabeleça que, por princípio, todos os espaços interiores e exteriores que constituem um dado edifício devem ser ligados por um percurso acessível, no ponto seguinte, (2.1.2), definem-se as excepções a esse princípio, referindo-se que podem não ter percurso acessível os espaços e compartimentos das habitações, para os quais são definidas condições específicas na secção 3.3., ou seja, todas as habitações.

Se os fogos se organizarem em mais de um nível deve ser garantido um percurso que obedeça às condições da secção 4.7 (pisos e seus revestimento) e 4.8 (ressaltos no piso), entre a porta de entrada e os seguintes compartimentos: um quarto (para habitações com lotação superior a cinco pessoas ou seja, T3⁹⁹, uma cozinha e ainda uma instalação sanitária. Deve assim haver um percurso sem ressalto ligando a porta de entrada com uma zona de rotação de 360°, uma cozinha que cumpra as condições do 3.3.3 e uma instalação sanitária que cumpra as condições de 3.3.4. e um quarto (no caso do fogo ser T2, não é necessário incluir este quarto nas condições). Portanto, neste percurso não devem existir ressalto superiores a 2cm, devendo os desníveis ser vencidos com rampa ou dispositivo mecânico de elevação.

As escadas no interior do fogo, mesmo não fazendo parte de um percurso acessível devem ter lanços de pelo menos 1,00m de largura, devendo os patamares superior e inferior ter 1,20m. Os corredores devem ter pelo menos 1,10m, as cozinhas devem permitir uma rotação de 360°, e deve haver também uma instalação sanitária acessível (2.9.19) com sanita, lavatório, bidé e banheira (ou espaço para ela, sendo neste caso substituída por base de duche).

IV.B Conforto (Higrotérmico, Qualidade ar, Acústico, Visual)

IV.B.1 CONCEITOS

Conceitos importantes para a análise do comportamento térmico são a temperatura de conforto, o isolamento térmico associado ao coeficiente de transmissão térmica (U) de um elemento, a resistência térmica, as pontes térmicas e a inércia térmica.

IV.B.1.a Temperatura de conforto

As temperaturas conhecidas no processo de transmissão de calor através de elementos de construção são as exteriores e interiores. A primeira é registada pelos serviços meteorológicos e a segunda é um valor nominal de conforto regulamentar. Assim o coeficiente de transmissão térmica é o valor associado aos elementos de construção integrando os efeitos de todos os fenómenos de transmissão de calor, conhecidas a temperatura exterior e interior.

A temperatura interior de referência considerada para a estação de aquecimento é 20°C e a temperatura interior de conforto na estação de arrefecimento é de 25°C (Portugal, 2013a).

⁹⁹ Segundo o RGEU, uma habitação T2 terá uma lotação de 4 pessoas, um T3 terá uma lotação de 6 pessoas (1 quarto de casal e dois quartos duplos).

IV.B.1.b Isolamento térmico

O coeficiente de transmissão térmico U de um elemento de construção homogéneo pode ser obtido pela expressão: $\frac{1}{U} = R_{si} + \frac{e}{\lambda} + R_{se}$ ($m^2 \cdot ^\circ C/W$), sendo R_{si} e R_{se} os valores de resistência térmica superficial interior e resistência térmica superficial exterior, e e a espessura do elemento construtivo e λ a condutividade térmica (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009, p. 187).

IV.B.1.c Pontes térmicas

Uma ponte térmica corresponde a:

"(...) toda a parte da envolvente de um edifício onde não é possível admitir a hipótese de uniformidade de resistência térmica, que é a abordagem de cálculo convencionalmente utilizada para as zonas correntes dos elementos de construção" (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009, p. 233).

As linhas de fluxo de calor nas zonas de ponte térmica perdem o paralelismo e acarretam "um acréscimo de trocas de calor pela envolvente". As pontes térmicas são originadas por: a) transição entre diferentes materiais; b) alterações de espessura, saliências ou reentrâncias de elementos de construção; c) pontos notáveis de diferença entre áreas internas e externas como encontro de paredes, intersecção de paredes e tectos ou pavimentos, etc.

IV.B.1.d Inércia térmica

A inércia térmica ou armazenamento de calor pela construção *"refere-se à capacidade de um elemento armazenar calor e só libertá-lo ao fim de algum tempo"* (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009, p. 260). Este factor permite absorver os ganhos de calor diurnos, libertando-os à noite, reduzindo assim a carga de arrefecimento durante o dia e a carga de aquecimento durante a noite. A inércia térmica depende da massa dos elementos de construção, permitindo distinguir entre elementos leves e elementos pesados.

A massa das paredes exteriores permite que as várias camadas de parede subtraíam calor à onda de calor que tem origem no exterior no início do dia. Dá-se então um desfasamento temporal, ou seja um atraso relativamente a uma outra parede com menos massa, podendo haver até a certa altura um influxo de calor para o exterior (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009). Por outro lado, a radiação solar que entra no interior através dos vãos envidraçados, pode ser absorvida pela massa das paredes, não se reflectindo esta entrada de radiação na temperatura interior. Durante a noite, com o arrefecimento das temperaturas, o calor armazenado nas paredes liberta-se parcialmente para o interior contribuindo para um aumento da temperatura¹⁰⁰.

"O maior partido da inércia térmica é tirado quando o isolamento térmico é aplicado pelo exterior" (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009, p. 262).

O isolamento térmico aplicado no exterior da envolvente permite que a massa dos elementos que contactam com o interior seja directamente responsável pelo aumento ou redução da temperatura interior. O isolamento interior anularia o efeito de massa térmica, ou seja o potencial de armazenamento de calor das paredes exteriores.

"Para climas temperados com amplitudes térmicas diárias e sazonais importantes, as construções pesadas (inércia térmica forte) asseguram condições mais confortáveis que as construções leves (inércia térmica fraca) e requerem menos energia se o aquecimento se efectuar numa base diária e regular. (...) [mas] se uma construção deste tipo fica desocupada será necessário consumir mais energia para atingir as condições de conforto do que uma construção leve" (Rodrigues, Piedade, & Braga, 2009, p. 263).

¹⁰⁰ Sendo este processo inconveniente durante o Verão, a ventilação natural pode atenuar o efeito do aumento de temperatura.

IV.B.1.e Estratégias bioclimáticas em função das zonas climáticas

Os “Conceitos Bioclimáticos para os edifícios em Portugal” (Gonçalves & Graça, 2004) consideravam estratégias bioclimáticas para a concepção dos edifícios em função dos zonamentos definidos no RCCTE entretanto revisto:

Zona I1-V1 - Litoral central até Lisboa e Sudoeste alentejano com barlavento algarvio.

“Climas mais amenos, [com] menor exigência das condições regulamentares. (...) No Verão, devido e à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se amplitudes térmicas diárias menores” (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte

Estratégias de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação

Zona I1-V2 - Alguns concelhos do Centro, Litoral e Sul do Algarve.

“A influência marítima suaviza alguns destes climas. O Verão deverá merecer um cuidado mais especial que o Inverno. (...) No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima verificam-se menores amplitudes térmicas diárias” (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, promover inércia forte

Zona I1 - V3 - Alentejo interior.

“As exigências de Verão deverão ter uma importância superior às de Inverno. (...) Maior preponderância da influência continental, que se reflecte em climas mais secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica forte” (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, Restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, arrefecimento evaporativo, ventilação, promover inércia forte.

Zona I2 - V1 - Litoral Norte e alguns concelhos do Centro.

“A influência Marítima ameniza o Verão, sendo o Inverno mais exigente que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar os ganhos solares. (...) No Verão, devido à preponderância da influência estabilizadora marítima, verificam-se junto à costa menores amplitudes térmicas diárias relativamente a regiões interiores de maior influência continental” (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, promover inércia forte.

Zona I2 - V2 - Zona de transição entre o litoral norte/centro e o interior.

“No Verão, as amplitudes térmicas diárias poderão considerar-se com valores médios, o que já exige cuidados maiores com a inércia térmica dos edifícios” (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, arrefecimento evaporativo, promover inércia forte.

Zona I2 - V3 - Zona do Vale do Tejo e Alentejo Interior e dois concelhos junto ao rio Douro.

"As condições de Verão sobrepõem-se às de Inverno, pelo que deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares. Climas Secos e de altas amplitudes térmicas, devem motivar estratégias de arrefecimento evaporativo e de inércia térmica pesada. As diferenças com a zona I1-V3 advêm de uma latitude superior que motiva maiores necessidades de aquecimento no Inverno" (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, arrefecimento evaporativo, promover inércia forte.

Zona I3-V1 - Boticas, Celorico da Beira, Guarda, Manteigas, Melgaço, Montalegre.

"O Inverno é muito mais agressivo que o Verão, o que deverá motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. (...) No Verão verificam-se baixas amplitudes térmicas diárias porém uma inércia térmica forte é muito conveniente devido ao Inverno e beneficia as condições de Verão" (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, arrefecimento evaporativo, promover inércia forte.

I3-V2 - Alguns concelhos de Trás-os-Montes, Douro, Minho e Beira Alta.

"Inverno mais exigente que Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para absorver ganhos de radiação solar. (...) No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias relevantes devido à influência do clima continental pelo que é muito conveniente uma inércia térmica forte devido aos climas tanto de Inverno como de Verão" (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, ventilação, arrefecimento evaporativo, promover inércia forte.

I3-V3 - Alguns concelhos do norte e centro (Alijó, Armamar, Baião, Lamego, Mirandela, etc.

"Climas mais agressivos do território continental tanto de Inverno como de Verão. As condições de Inverno deverão motivar uma maior capacidade do edifício para captar ganhos solares. No Verão verificam-se amplitudes térmicas diárias muito elevadas devido à influência do clima continental pelo que é imprescindível uma inércia térmica forte" (Gonçalves & Graça, 2004).

Estratégia de Inverno: Promover ganhos solares, restringir perdas por condução, promover inércia forte.

Estratégia de Verão: Restringir ganhos solares, restringir ganhos por condução, ventilação, arrefecimento evaporativo, promover inércia forte.

IV.B.2 CONFORTO HIGRO-TÉRMICO / DESEMPENHO ENERGÉTICO

No seguimento da publicação da Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético de Edifícios n.º 2010/31/EU de 19 de Maio do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, que revogou a anterior directiva 2002/91/CE, foi transposta para a legislação nacional a nova directiva através da publicação do **Decreto-Lei n.º 118/2013** que diz respeito ao **Sistema de Certificação Energética (SCE)** e que integra ainda o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). O novo diploma entrou em vigor em 1 de Dezembro de 2013 (Portugal, 2013c).

São abrangidos pelo Sistema de Certificação Energética, os edifícios ou fracções novas sujeitos a grandes intervenções, sendo excluídos do SCE segundo a alínea d) do artigo 4.º "Os edifícios unifamiliares com área útil igual ou inferior a 50 m²", os restantes deverão ser certificados. O pré-certificado e o certificado SCE deverão ser verificados no momento do

controlo prévio de operações urbanísticas realizado por entidade competente (alínea a do n.º2 do artigo 5.º). Prevê-se a certificação com base noutra edifício ou fracção quando se baseie em edifícios de concepção e dimensão semelhantes (n.º 5 do artigo 7º), ou quando seja feita uma certificação de conjunto de edifícios vizinhos e de concepção semelhante (n.º 7 do artigo 7º), ou seja quando as soluções construtivas e os sistemas técnicos instalados forem semelhantes. O proprietário deve pedir a emissão de pré-certificado SCE “no decurso do procedimento de controlo prévio da respectiva operação urbanística” e de certificado SCE “aquando do pedido de emissão de licença de utilização ou de procedimento administrativo equivalente” (alíneas a e b do n.º1 do artigo 14.º). O pré-certificado converte-se em certificado após a conclusão da obra mediante a verificação da conformidade da obra com o projecto por parte do autor do projecto e do director técnico (n.º 2 do artigo 15º). Os certificados têm um prazo de 10 anos (n.º 3 do artigo 15º). Introduce-se no artigo 16.º o conceito de “edifícios com necessidades quase nulas de energia” (nZEB), prevendo-se que a partir de 2021 ou 2019 todos os edifícios novos públicos devem ser abrangidos (integrando energias renováveis e captações locais) (Portugal, 2013c).

O Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) estabelece os requisitos, os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético dos edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos. O objectivo destes é, segundo o artigo 22.º:

“promover a melhoria do respectivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente” (Portugal, 2013c).

No caso dos edifícios de habitação unifamiliar, aplica-se o REH à totalidade do edifício (alínea a do n.º 2 do artigo 23.º).

Relativamente ao comportamento térmico, a avaliação dos edifícios incide “nas características da envolvente opaca e envidraçada, na ventilação e nas necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento” (artigo 24.º). A eficiência dos sistemas técnicos incide na sua qualidade e nas “necessidades anuais de energia para preparação de água quente sanitária e de energia primária” (artigo 25º). Relativamente ao comportamento térmico dos edifícios de habitação novos (Artigo 26.º): “O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}) (...) não pode exceder o valor máximo de energia útil para aquecimento (N_i) determinado em portaria”; “O valor das necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}) (...) não pode exceder o valor máximo de energia útil para arrefecimento (N_v) definido em portaria” (Portugal, 2013c). Os requisitos descritos nos números anteriores devem ser satisfeitos sem serem ultrapassados os valores-limite de qualidade térmica da envolvente, estabelecidos em portaria” (n.º 3 do artigo 26.º). “O valor da taxa de renovação horária nominal de ar para as estações de aquecimento e de arrefecimento de um edifício de habitação novo (...) deve ser igual ou superior ao valor mínimo de renovações horárias a definir em portaria” (Portugal, 2013c).

A determinação da classe energética dos edifícios de habitação é efectuada em função das regras definidas no Despacho (extracto) n.º 15793-J/2013 (Portugal, Regras de determinação da classe energética, 2013b). Assim, a classe energética é determinada através do rácio de classe energética $R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t}$

Em que:

N_{tc} é o valor das necessidades nominais anuais de energia primária

N_t é o valor limite regulamentar para as necessidades anuais de energia primária

A escala de classificação de eficiência energética é composta por 8 classes (A+, A, B, B-, C, D, E, F), definidas por intervalos de valores, sendo a classificação B- ($0,76 \leq Rn_t \leq 1,00$), o limiar inferior admissível para edifícios novos e A+ a classe superior ($Rn_t \leq 0,25$) (Portugal, Regras de derminação da classe energética, 2013b).

Os pré-certificados e os certificados energéticos têm uma validade de 10 anos, caducando o pré-certificado com a licença ou autorização de construção. Os certificados apresentam os valores referenciais de desempenho do edifício ou fracção expressos em percentagem e em kWh/m2.ano relativamente à referência, em termos de consumo energético, perdas e ganhos de calor da habitação expressos em percentagem relativamente à referência. Apresentam também uma informação qualitativa descrevendo as principais soluções em termos de paredes, coberturas, pavimento e janelas e o contributo de energia renovável no consumo de energia do edifício expresso em percentagem e as emissões de CO2 estimadas devidas ao consumo de energia. Finalmente apresentam-se medidas de melhoria propostas com descrição da solução, estimativa de custo, redução estimada da factura energética e a classe energética atingida após a solução proposta.

A Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Dezembro estabelece o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e “define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE” (Portugal, 2013a). O regulamento contempla tanto o comportamento térmico como a eficiência dos sistemas. O comportamento térmico (1) engloba os requisitos energéticos (1.1), os requisitos de qualidade (1.2) e os requisitos de ventilação (1.3). Os requisitos energéticos dos edifícios de habitação consistem na limitação das necessidades para arrefecimento (1.1.a) e aquecimento (1.1.b). Os requisitos de qualidade incidem sobre a qualidade térmica da envolvente opaca (1.2.a) e sobre os factores solares dos envidraçados (1.2.b). Os requisitos de ventilação incidem sobre o número de renovações mínimas do ar interior (1.3.a). A eficiência dos sistemas engloba os requisitos sobre sistemas técnicos (2.1), os sistemas solares térmicos (2.2) e os requisitos energéticos (2.3).

O modelo de avaliação do desempenho energético implica o estabelecimento de um edifício de referência. Os requisitos energéticos de comportamento térmico consistem na obtenção de valores de necessidades anuais de energia para aquecimento e arrefecimento inferiores aos valores máximos. Os requisitos energéticos de eficiência dos sistemas consistem na obtenção de valores de necessidades nominais de energia primária inferiores aos valores máximos.

O valor máximo de necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_i) é determinado pela expressão:

$$N_i = (Q_{tr,i,ref} + Q_{ve,i,ref} - Q_{gu,i,ref}) / A_p \text{ [kWh/m}^2\text{.ano]}$$

Em que:

$Q_{tr,i,ref}$ - Transferência de calor por transmissão através da envolvente de referência na estação de aquecimento em kWh;

$Q_{ve,i,ref}$ - Transferência de calor por ventilação de referência na estação de aquecimento, em kWh;

$Q_{gu,i,ref}$ - Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento, em kWh;

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior, em metros quadrados m².

Sendo estes parâmetros determinados de acordo com os seguintes dados:

$U_{i,ref}$ Coeficientes de transmissão térmica superficial de referência para elementos opacos e envidraçados [W/(m².°C)] (P349-B/2013 - Tabela I.01);

$\psi_{j,ref}$ Coeficientes de transmissão térmica linear de referência da envolvente exterior [W/(m.°C)] (P349-B/2013 - Tabela I.02);

R_{ph} Taxa nominal de renovação do ar interior de referência que é igual à do edifício em estudo, com um máximo de 0,60 h⁻¹;

$\eta_{i,ref}$ Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento de referência unitário, igual a 0,60;

Os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados a partir de 2015, são os da Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados (Portugal, 2013a).

Zonas correntes da envolvente $U_{ref} W/(m^2 \cdot ^\circ C)$		Zona climática - Portugal Continental		
		I1	I2	I3
Em contacto com exterior ou espaços não úteis	Elementos opacos verticais	0,40	0,35	0,30
com coef. redução de perdas $btr > 0.7$	Elementos opacos horizontais	0,35	0,30	0,25
Em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis	Elementos opacos verticais	0,80	0,70	0,60
Com coeficiente de redução de perdas $btr \leq 0.7$	Elementos opacos horizontais	0,70	0,60	0,50
Vãos envidraçados (U_w) (portas e janelas)		2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo			0,50	

O valor máximo de necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_v) é determinado pela expressão:

$$N_v = (1 - \eta_{v,ref}) \cdot Q_{g,v,ref} / A_p$$

Em que:

$\eta_{v,ref}$ - Factor de utilização de ganhos de referência (para o qual é necessário ter em conta tanto a temperatura interior de referência na estação de arrefecimento, contabilizada em 25°C e a temperatura exterior média na estação de arrefecimento no local, de acordo com o Despacho do Director Geral de Energia e Geologia

$Q_{g,v,ref}$ - Ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento, em kWh;

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, em m²

Os parâmetros a ter em conta para os ganhos térmicos de referência na estação de arrefecimento são:

q_{int} Ganhos internos médios, contabilizados em 4 W/m²;

$I_{sol,ref}$ Radiação solar média de referência, correspondente à radiação incidente numa superfície orientada a Oeste [kWh/(m².ano)] \Rightarrow (D15793-F/2013 - Tabela 05);

$g_{v,ref}$ Factor solar de referência para a estação de arrefecimento, contabilizado em 0,43;

A_w/A_b Razão entre a área de vãos e a área interior útil de pavimento, que se assume igual a 20%;

L_v Duração da estação de arrefecimento, contabilizada em 2928 horas;

$h_{v,ref}$ Factor de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento função de $\Delta q = q_{ref,v} - q_{ext,v}$

O valor máximo para as necessidades nominais anuais de energia primária (N_t) corresponde ao valor das referidas necessidades, admitindo a inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluindo sistemas de energia solar para preparação de águas quentes sanitárias (AQS), considerando de igual modo os valores e condições de referência indicados. Ou seja, o parâmetro N_t é igual às necessidades nominais anuais de energia primária de aquecimento somada às necessidades nominais anuais de energia primária de arrefecimento somadas às necessidades de energia primária para preparação de Águas quentes Sanitárias.

Relativamente aos requisitos gerais da **qualidade térmica da envolvente**, em edifícios novos, e sujeitos a intervenções, os elementos e as soluções construtivas, devem estar caracterizados em termos do seu comportamento térmico. A caracterização térmica referida

deve ser estabelecida através de marcação CE e da etiqueta energética, sempre que exista um sistema de etiquetagem aplicável.

Nenhum elemento da zona corrente da **envolvente opaca** do edifício, na qual se incluem elementos construtivos do tipo paredes, pavimentos ou coberturas, deverá ter um coeficiente de transmissão térmica superior aos valores máximos. Todas as zonas de qualquer elemento opaco que constituem zona de Ponte Térmica Plana (PTP), nomeadamente pilares, vigas e caixas de estore, devem ter um valor do coeficiente de transmissão térmica (UPTP), calculado de forma unidimensional na direcção normal à envolvente, não superior ao dobro do dos elementos homólogos adjacentes (verticais ou horizontais) em zona corrente, U_{cor} , e que respeite sempre os valores máximos indicados. Adicionalmente, os factores solares envidraçados devem promover a minimização do sobreaquecimento ($g \leq g_{máx}$).

Finalmente, a verificação regulamentar é efectuada através do cálculo das necessidades nominais de energia primária - N_{tc} [kWh_{EP}/m².ano], somando as necessidades anuais de energia primária de aquecimento (N_{ic}) (que devem ser menores ou iguais às N_i de referência), as necessidades anuais de energia primária de arrefecimento (N_{vc}) (que devem ser menores ou iguais que o as N_v de referência), as necessidades de energia primária para AQS (águas quentes sanitárias) (W_{vm}/Ap) e ventilação mecânica (W_{vm}/Ap), deduzidas de eventuais contribuições de fontes de energia renovável (Portugal, Cálculo das necessidades energéticas, 2013d). Deve-se verificar a condição $N_{tc} \leq N_t$.

Os parâmetros para o zonamento climático e respectivos dados do território nacional é definido no despacho n.º 15793-F/2013 (Portugal, Parâmetros para o zonamento climático, 2013), tendo por base a divisão territorial expressa na Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos (NUTS) de nível III. Foram definidas três zonas climáticas de Inverno (I1, I2, I3) e três zonas climáticas de Verão (V1, V2, V3), com o objectivo de aplicação dos requisitos para a qualidade térmica da envolvente. Os critérios para a determinação das zonas climáticas de Inverno têm por base o número de graus dias (GD) na base de 18°C, correspondentes à estação de aquecimento. As zonas climáticas de Verão são definidas a partir da temperatura média exterior correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{ext, v}$). Os valores dos parâmetros climáticos de um dado local são obtidos a partir dos valores de referência X_{ref} associados a cada NUTS III e ajustados com base na altitude do local.

IV.B.3 QUALIDADE DO AR

O artigo 36.º do DL n.º 118/2013 - Sistema de Certificação Energética (SCE), estabelece que se devem definir por portaria: a) os valores mínimo de caudal de ar novo por espaço em função da ocupação, das características do próprio edifício e dos seus sistemas de climatização; b) Os limiares de protecção para as concentrações de poluentes do ar interior (Portugal, Sistema de certificação energética dos edifícios, 2013c).

O Artigo 37.º do DL n.º 118/2013 estabelece que os sistemas técnicos devem ser instalados de modo a garantir, para além do seu funcionamento em condições optimizadas, a promoção da qualidade do ar interior (Portugal, Sistema de certificação energética dos edifícios, 2013c).

Segundo o artigo 12.º do DL n.º 118/2013, o acompanhamento da aplicação do DL no âmbito da qualidade do ar interior compete à Direcção Geral de Saúde e à Agência Portuguesa de Ambiente. No artigo 13.º refere-se que compete aos Peritos Qualificados fazer a avaliação dos edifícios a certificar, não comprometendo a qualidade do ar interior.

A Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Dezembro estabelece o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) que “define a metodologia de determinação da classe de desempenho energético para a tipologia de pré-certificados e certificados SCE”, estabelece também que: nos edifícios de habitação, o valor de taxa de renovação horária de ar calculado de acordo com as disposições previstas para o efeito em Despacho do Director-geral de Energia e Geologia, deve ser igual ou superior a 0,4 renovações por hora (Portugal, 2013a).

A norma EN 15251 (em processo de revisão) estabelece os parâmetros de ar interior para projecto e avaliação do comportamento energético dos edifícios relativamente ao ambiente térmico, iluminação e acústica.

IV.C Segurança estrutural

“As diferenças de estrutura anatómica e de composição química entre as madeiras provenientes de diferentes espécies florestais tornam necessário que os diversos tipos de madeira sejam tratados como materiais de construção distintos (em termos de propriedades físico mecânicas e de durabilidade)” (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 16).

IV.C.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

A verificação de estruturas de madeira é segundo Negrão & Faria (Negrão & Faria, 2009) uma tarefa semelhante à da verificação da estabilidade em estruturas de betão armado e em estruturas metálicas. A singularidade do método geral de cálculo de estruturas de madeira deve-se à natureza do material, exigindo-se antes de mais o conhecimento prévio dos dados dos materiais utilizados. Por outro lado, exige-se o conhecimento dos dados das acções e dos modelos de cálculo dos esforços e das deformações e vibrações, do modo de avaliar a capacidade resistente das estruturas recorrendo ao método de verificação definido no Eurocódigo 5 (Negrão & Faria, 2009).

As estruturas de madeira podem surgir normalmente sob as seguintes formas: madeira maciça nova, madeira lamelada colada, madeira microlamelada colada (LVL), madeira em derivados estruturais modernos (PSL- *parallel stand lumber*, LSL- *laminated strand lumber*, Vigas I e outros). Associados às estruturas de madeira estão disponíveis também os ligadores metálicos e os materiais para tratamento por pintura (preventivos, ignífugos ou de acabamento).

Segundo Negrão e Faria (2009, p. 5) a quantificação das acções deve ser preferencialmente realizada utilizando o Eurocódigo 1. Devem ser quantificadas as acções directas, como as cargas permanentes, sobrecargas, vento, neve e sismos. Devem ser verificadas também as acções indirectas (assentamento de apoios e acções induzidas pelas variações dos teores de água nas peças). As especificidades mais importantes na quantificação das acções são os efeitos da duração das acções e o teor de água da madeira em serviço que influenciam tanto as propriedades dos materiais como o comportamento da estrutura.

As partes relevantes da EN1991 (Eurocódigo 1) são (Negrão & Faria, 2009, p. 5): EN 1991-1-1 Pesos volúmicos, próprios e sobrecarga; EN 1991-1-3 Acções da neve; EN 1991-1-4 Acções do vento; EN 1991-1-5 Acções durante a execução; EN 1991-1-7 Acções de acidente.

Na América do Norte, a cultura das normas prescritivas permite que dentro de certos limites se possa efectuar a concepção de projectos de habitação unifamiliar através da utilização de soluções padronizadas. Um dos métodos também muito utilizados no pré-dimensionamento de estruturas em situações típicas consiste na utilização de tabelas de vãos (*span tables*). O processo consiste na determinação do peso próprio dos elementos construtivos para os quais existem tabelas que permitem por exemplo saber que uma solução de vigas de pavimento de

2"x8" afastadas 16" (oc - *on centre*) tem um peso de 2,2 psf (libras por pé quadrado). As sobrecargas são especificadas nos regulamentos (IRC), estando bem definidas as acções para edifícios uni e bifamiliares estabelecidas em função das áreas funcionais (por exemplo quartos - 30psf, varandas exteriores - 60psf, espaços genéricos - 40psf, etc.). Quanto às acções da neve, do vento e do sismo estão definidas por áreas geográficas. As tabelas oferecem os vãos limite para uma determinada secção sujeita às cargas consideradas, utilizando uma dada espécie, com uma determinada classe estrutural. No caso dos produtos derivados de madeira, são os próprios fabricantes que fornecem as tabelas de vãos estruturais (Wing, 2009).

IV.C.2 CLASSES DE SERVIÇO E DURAÇÃO DAS ACÇÕES

As propriedades elastomecânicas da madeira variam com o seu conteúdo de humidade mas somente quando esta se encontra abaixo do ponto de saturação das fibras (30%). Entre 8% e 20% de teor de água, a variação das propriedades é linear. Pode-se dizer que em geral a madeira é mais resistente e mais rígida conforme o seu conteúdo de humidade for menor (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 52).

As condições de equilíbrio termo-higrométrico reflectem-se nas dimensões dos elementos de madeira, na redução da resistência e no módulo de elasticidade. O Eurocódigo 5 estabelece classes de serviço e fornece exemplos (cf. Tabela 4).

Tabela 4 - Definição de classes de serviço e exemplos (TRADA & IStructE, 2007).

Classe de serviço	Temperatura	Máximo aproximado de humidade relativa do ar	EMC* (%)	Exemplos do EC5
1	20°C	65%	12%	Elementos de cobertura protegidos com isolamento térmico (warm roof), paredes de reticulados, interiores e exteriores.
2	20°C	85%	20%	Elementos de cobertura sobre isolamento térmico, pavimentos térreos, paredes reticuladas exteriores, usos exteriores protegidos
3	Condições favoráveis a maior teor de >20% humidade que a classe de serviço 2.			Usos no exterior, exposição total

* *Equilibrium Moisture Content* (Humidade de equilíbrio máxima para a maioria das espécies de coníferas)

A norma EN335:2013 para além de definir as classes de risco de referência para o problema da durabilidade da madeira na sua relação com as condições ambientais, inclui um quadro que estabelece a ligação entre as classes de risco e as classes de serviço (cf. Tabela 13) (Nunes, 2013).

A resistência da madeira é inferior quando sujeita a cargas permanentes e é superior quando sujeita a cargas de curta duração. O Eurocódigo 5 prevê cinco categorias de acordo com a duração característica da carga (cf. Tabela 5).

Tabela 5 - Classes de duração das acções (TRADA & IStructE, 2007).

Classe	Definição	Exemplos do EC5 NA e EC0
Permanente	Mais de 10 anos	Peso próprio
Longa duração	Entre 6 meses e 10 anos	Estruturas temporárias, cargas de armazenagem, incluindo em lofts, tanques de água
Médio termo	1 Semana a 6 meses	Sobrecargas em pavimento
Curta duração	Menos de 1 semana	Neve, manutenção ou peso humano em coberturas
Instantâneas	Instantânea	Vento, cargas de impacto, explosão

O efeito da humidade na resistência não parece ter consequências apreciáveis nas madeiras sujeitas às classes de serviço 1 e 2 (intervalos de humidade entre 12% e 20%), mas na classe de serviço 3, a resistência da madeira varia de forma significativa. Contudo, o efeito da

humidade verifica-se mais na elasticidade que na resistência (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 53).

A influência do teor de água nos elementos estruturais é expressa no cálculo de estruturas através do conceito de classes de serviço e na sua implicação para a definição dos factores K_{mod} e K_{def} . Estes factores permitem ter em conta o efeito do teor de água, permitindo também corrigir os valores característicos de resistência e rigidez de acordo com o comportamento da madeira à fluência e ao tempo de duração das acções (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 15).

K_{def} é o factor que traduz o aumento da deformação de um elemento com o tempo de serviço e com as variações termo-higrométricas, ou seja a fluência. K_{mod} é o factor que traduz a variação da resistência de um elemento quando sujeito a uma carga em função do tempo de aplicação, ou seja a duração das acções (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 15).

IV.C.3 CÁLCULO ESTRUTURAL

O comportamento anisotrópico da madeira é simplificado para efeitos de cálculo estrutural convencionando-se que o comportamento mecânico na perpendicular ao fio em termos de resistência é uniforme segundo qualquer direcção. O projecto de arquitectura, na sua relação com o projecto de estabilidade deve ter em conta as especificidades principais da madeira expressas por algumas chamadas de atenção:

"(...) a importância que o modo de ligar as peças tem nos esforços a que as mesmas estão sujeitas; a necessidade de escolher bem o modelo de cálculo de acordo com o processo de ligação escolhido, (...) as variações dimensionais das peças resultantes da variação da temperatura e humidade do ambiente envolvente das estruturas" e "a anisotropia da madeira e a respectiva influência no modo de montar as peças" (Negrão & Faria, 2009, p. 9).

Os elementos estruturais devem ser orientados, como é evidente, de modo a que os componentes sejam solicitados na direcção do fio da madeira. Uma vez que a resistência da madeira na perpendicular ao fio da madeira é muito menor do que na direcção paralela, as situações de solicitação dos elementos estruturais na perpendicular ou em ângulos não paralelos ao fio devem ser claramente identificadas (Negrão & Faria, 2009).

Outro elemento importante a identificar é o modo de ligação dos elementos de madeira. Não sendo possível conhecer com rigor se as ligações são rígidas ou articuladas, mas sabendo-se que qualquer ligação não será nunca puramente rígida, utilizam-se modelos de cálculo contínuos e articulados para a mesma estrutura. A grande dificuldade no cálculo de estruturas de madeira tem a ver com as ligações entre os elementos de madeira (Negrão & Faria, 2009, p. 7), devido à anisotropia, no entanto as ligações de componentes de madeira, principalmente de madeira lamelada colada para pequenos vãos, "são simples de calcular e pormenorizar" (Negrão & Faria, 2009, p. 11).

Normalmente o factor condicionante do dimensionamento é o estado limite de utilização porque o módulo de elasticidade da madeira é baixo relativamente à resistência (à flexão na direcção das fibras, à compressão na direcção das fibras, à tracção na direcção das fibras). Também o comportamento às vibrações é um factor de importância porque a madeira tem dificuldade de dissipar rapidamente a energia vibratória (Negrão & Faria, 2009).

Tendo em consideração as informações que o cálculo das estruturas necessita (Negrão & Faria, 2009, p. 16), o arquitecto poderá ter atenção às informações a fornecer para diálogo com os responsáveis pelo cálculo de estruturas: propriedades dos materiais (por exemplo resistência e rigidez), comportamentos dos materiais no tempo (duração das acções, fluência), condições climáticas (temperatura e humidade), e situações variáveis das estruturas

importantes para o cálculo (fases de construção, alteração das condições de apoio, transporte).

Deve ainda referir-se que existe uma relação significativa entre a resistência da madeira e o tamanho dos componentes, de forma que quanto maior for o seu volume, menor é a tensão de rotura. O tamanho da peça parece também influenciar as propriedades reológicas da madeira. Sob condições de clima variável e carga permanente, o tempo até à rotura diminui conforme diminui o volume da peça (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Pode ainda considerar-se que abaixo dos 50°C a temperatura não afecta a resistência (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 55).

IV.C.4 REGULAMENTAÇÃO DE ESTRUTURAS

“O enquadramento para a elaboração de especificações técnicas harmonizadas destinadas a produtos e elementos estruturais” é dado pelos 10 Eurocódigos estruturais que incluem 58 normas Europeias (cf. Tabela 6).

O “Eurocódigo - Base para o projecto de estruturas” em conjunto com o “Eurocódigo 1” tem correspondência em Portugal ao Regulamento de Segurança e Acções (RSA). O “Eurocódigo 8 - Projecto de estruturas para resistência a sismos” encontra-se distribuído pelos diversos regulamentos (RSA, REBAP, REAE). Para o “Eurocódigo 5 - Projecto de Estruturas de Madeira” não existe regulamentação nacional. Falta ainda clarificar o enquadramento legal dos Eurocódigos uma vez que estes são publicados como normas, mas a prática nacional consiste em publicar os regulamentos de estruturas na forma de decretos-lei (LNEC, 2013).

Tabela 6 - Programa de publicação dos Eurocódigos (LNEC, 2013).

Norma Europeia	Eurocódigo	Nº de partes
EN 1990	EUROCÓDIGO relativo às bases para o projecto de estruturas	1
EN 1991	EUROCÓDIGO 1 relativo às acções em estruturas	10
EN 1992	EUROCÓDIGO 2 relativo ao projecto de estruturas de betão	4
EN 1993	EUROCÓDIGO 3 relativo ao projecto de estruturas de aço	20
EN 1994	EUROCÓDIGO 4 relativo ao projecto de estruturas mistas aço-betão	3
EN 1995	EUROCÓDIGO 5 relativo ao projecto de estruturas de madeira	3
EN 1996	EUROCÓDIGO 6 relativo ao projecto de estruturas de alvenaria	4
EN 1997	EUROCÓDIGO 7 relativo ao projecto geotécnico	2
EN 1998	EUROCÓDIGO 8 relativo ao projecto de estruturas para resistência aos sismos	6
EN 1999	EUROCÓDIGO 9 relativo ao projecto de estruturas de alumínio	5

IV.C.5 MEDIÇÃO DAS SINGULARIDADES DA MADEIRA

A norma EN 1310 define os métodos de medida das singularidades de madeira a considerar na classificação visual de madeira serrada ou redonda de coníferas e folhosas, excluindo as madeiras tropicais. A norma não se aplica a classificação em classes de resistência de madeira estrutural. A definição de conceitos encontra-se nas normas EN 844-x.

IV.C.5.a Nós

Os nós são a singularidade mais significativa na classificação visual da madeira porque afectam as propriedades de resistência e flexão. A classificação dos nós é realizada segundo a sua forma, dimensões e posição. As dimensões são expressas em milímetros ou em percentagem da dimensão da superfície sobre a qual se manifestam. Os nós classificam-se também, pelo seu estado sanitário ou pelo grau de aderência com a peça, sendo esta uma classificação mais estética que estrutural (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p.

61). A existência de nós é considerada um defeito, especialmente porque embora um nó possa ter boa resistência à compressão, quando inserido num componente de madeira sujeito a tensão, tenderá a separar-se. Esta situação pode ocorrer efectivamente em vigas ou em pilares mais esbeltos (Roy, Timber framing for the rest of us, 2004, p. 28).

Quanto ao estado sanitário, os nós classificam-se em: 1) “nó são” são quando não apresenta sinais de podridão; e 2) “nó podre” quando é parcial ou totalmente afectado pela podridão. Quanto à sua aderência os nós classificam-se em: 1) “nó aderente” quando é aderente à peça de madeira pelo menos em 3/4 da sua longitude; 2) “nó parcialmente aderente” quando é aderente à peça de madeira pelo menos em 1/4 a 3/4 da sua longitude; e 3) “nó solto” quando o grau de aderência é nulo ou quase nulo, com adesão inferior a 1/4 do perímetro.

A medição dos nós pode ser efectuada pelo método geral ou pelo alternativo. O método geral tem importância para a classificação da aparência e o método alternativo tem em conta a posterior classificação resistente.

No IBC, as regras para utilização de vigas de pavimentos e de cobertura permitem que existam nós aderentes no primeiro terço da face maior, permitem ainda nós soltos no segundo terço e não permitem nenhum nó com mais de 1” no terço inferior (Wing, 2009).

IV.C.5.b Método geral

O método geral de medição tem em conta cada nó individualmente. As fórmulas de medição utilizam as seguintes designações: d para a dimensão do nó, a para o eixo menor do nó e b para o eixo maior do nó. A fórmula geral é: $d = \frac{a+b}{2}$

Os tipos de nós segundo o método geral são os seguintes: “nó redondo”, “ovalado”, “de aresta”, “espiga”, “nó de aresta em espiga”, “bigode”, “nós agrupados”, “olho-de-perdiz” (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, pp. 62-65). As regras de medição de nós definirão, o máximo de dimensão de cada tipo de nó, o número de nós admissíveis acima dessa dimensão e o número total de nós admissíveis e a dimensão total dos nós medidos (BSI - British Standard Institute, 1997).

IV.C.5.c Método alternativo

O método alternativo utiliza-se para a medição de nós. A dimensão do nó será a sua largura ou a largura de um grupo de nós medidos perpendicularmente ao eixo longitudinal da peça. Dentro desta regra, os critérios de medição são semelhantes, embora com detalhes particulares. Um grupo de nós por exemplo é medido através da dimensão do grupo, ou da soma dos nós individuais, dependendo do valor que for menor (BSI - British Standard Institute, 1997).

Nós com diâmetro inferior ou igual a 10mm podem ser desvalorizados, a não ser que sejam repassados, ou seja que se manifestam em superfícies opostas. Também se desvalorizam os nós da face interna, sendo esta face a que se encontra mais próxima da medula. Se estes nós superficiais surge na aresta ou no canto, devem ser avaliados como nós de aresta ou de canto respectivamente (Sanz & Et al., 2007).

A casca que se encontra em redor do nó será medida em conjunto com ele. Quando as irregularidades do fio em redor do nó não se diferenciarem com clareza deste, devem ser medidas em conjunto com o nó. Também os vazios deixados por nós soltadiços devem ser medidos como nós.

Os nós devem ser medidos em todas as superfícies sendo o seu valor, a relação entre o diâmetro do nó e a dimensão da superfície em que ele se apresenta: “d/h” para os nós de face e “d/b” para os nós de canto (sendo d a dimensão do nó, e h e b a dimensão menor da face e do canto do componente de madeira). Exceptuam-se desta regra os nós marginais e os nós de aresta. Os nós marginais são os que se encontram a uma distância do canto “s” inferior ao seu diâmetro “d”. A sua medição é realizada na face, mas contabiliza-se como sendo nó de canto, adoptando-se a relação “d/b” entre o diâmetro e a espessura da peça. Os nós de aresta são os que se manifestam simultaneamente numa face e no canto contíguos e são contabilizados na superfície que os corta mais perpendicularmente, sendo a sua medição feita em qualquer dos casos através da relação “d/b”. Quando existirem dúvidas se o nó de aresta deve ser contabilizado na face ou no canto deve ser tido em conta o local onde o nó tem a maior medida (Sanz & Et al., 2007).

Nós agrupados são os nós em que a distância entre centros medida segundo o eixo longitudinal da peça é inferior a 150mm, quando a largura da peça é superior a 150mm. Quando a peça é inferior a 150mm, os nós são agrupados se a distância entre centros é inferior à largura da peça. Os nós agrupados são medidos somando os seus diâmetros quando as suas projecções na perpendicular à largura da peça não se sobrepõem. Se os nós se sobrepõem, medem-se globalmente através das projecções dos seus limites à esquerda e à direita da peça (Sanz & Et al., 2007).

IV.C.5.d Bolsas de resina

As bolsas de resina apresentam a mesma desvantagem dos nós, afectando a resistência por implicar desvios nas fibras da madeira em seu redor, podendo também ter o inconveniente de poder apresentar exsudação significativa quando expostos a temperaturas elevadas. As bolsas de fraca expressão têm um efeito semelhante ao das fendas (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 14).

Nas bolsas de resina, segundo a EN 1310 mede-se a dimensão máxima da bolsa em milímetros e no caso de haver mais de uma, deve-se anotar o seu número por metro linear de peça. Em alternativa anota-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). A dimensão máxima será medida segundo o eixo maior. Na norma portuguesa, as bolsas de resina medem-se como se fossem fendas (Sanz & Et al., 2007).

IV.C.5.E Madeira de reacção

A medição da madeira de reacção baseia-se na determinação da longitude e largura do rectângulo em que se inscreve, expressa em centímetros ou em percentagem da longitude e/ou largura da superfície considerada (da face ou do canto¹⁰¹ da peça). No caso de haver mais zonas de madeira de reacção, mede-se cada uma delas e somam-se as dimensões consideradas. Em alternativa regista-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Na norma portuguesa, a madeira de reacção é aceitável quando representa uma pequena percentagem.

Nas coníferas a madeira de reacção detecta-se pela excentricidade elevada, anéis anormalmente largos e densidades anormalmente elevadas. Não existem meios fiáveis para a sua identificação, dependendo esta muito da experiência do classificador. O seu principal inconveniente reside na sua anormal contracção longitudinal que potencia deformações elevadas. A norma EN1310 prevê a medição da longitude e largura do rectângulo em que se

¹⁰¹ “Aba” poderia ser uma designação mais apropriada que “canto”.

insere e expressa-se como a fracção da secção ou da superfície considerada (face ou canto) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 92).

IV.C.5.F Desvio da fibra

O desvio da fibra resulta da sua inclinação em relação ao eixo longitudinal da peça. O desvio da fibra pode ser geral ou local (que pode ser um resultado da presença de nós, mas este normalmente não é considerado pelas normas).

O desvio da fibra é uma causa importante de perda de resistência da madeira porque a madeira tem cerca de dez vezes mais resistência na direcção longitudinal que na direcção transversal (Wing, 2009). Este pode dever-se a um defeito de serração, ou a uma curvatura natural do tronco, ou à presença de fibras reviradas, podendo ainda estar relacionado com outro tipo de anomalias genéticas ou de crescimento.

Os tipos de desvio da fibra são:

- 1) “Fibra alternada ou entrelaçada” quando a direcção da fibra em anéis contíguos varia de sentido. Neste caso não se mede, registando-se a sua presença;
- 2) “Fibra ondulada” quando a direcção da fibra dentro do mesmo anel varia. Mede-se a longitude e/ou largura do rectângulo em que se inscreve a singularidade expresso em milímetros ou em percentagem, da longitude e/ou largura da superfície. Em alternativa, não se mede, registando-se a sua presença.
- 3) “Fibra revirada” quando a direcção da fibra forma uma hélice em redor do eixo do tronco. Pode ser apreciada na zona juvenil de algumas coníferas. Não se mede, registando-se a sua presença. Em alternativa, não se mede, registando-se a sua presença.

O desvio da fibra é o quociente entre o desvio observado (ao longo do eixo x da dimensão considerada) em relação à direcção longitudinal (ao longo do eixo y da dimensão considerada) da peça expresso em percentagem $\frac{x}{y} 100$ (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

Santos (Santos, Duarte, Santos, & Pestana, 2011) refere que o alinhamento das fibras ao longo do eixo longitudinal das peças de madeira é um factor que muitas vezes não é tido em conta ou não é quantificado com precisão. O defeito chamado de “fio diagonal”, mesmo para valores baixos, implica diminuições muito significativas dos valores da resistência à compressão e do módulo de elasticidade

IV.C.5.G Taxa de crescimento

Em geral os critérios de classificação, segundo a norma EN 1310 consideram que o valor com que se determina esta singularidade é o coeficiente de crescimento. Para o calcular marca-se no topo da peça a maior linha recta perpendicular aos anéis de crescimento que é possível traçar. Depois conta-se o número de anéis intersectados pela linha. Este procedimento repete-se no topo oposto. O coeficiente de crescimento obtém-se dividindo a soma das longitudes das linhas em ambos os topos pelo número total de anéis de crescimento contados. Os anéis incluídos nos 25mm em redor da medula não são contados no caso de estarem presente. Esta é uma medição que só é efectuada se se comercializar as peças de madeira em húmido, acima de 20% de teor de água (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 71).

IV.C.5.H Casca inclusa

A casaca inclusa é um troço de casca incluída na madeira. A sua medição é efectuada anotando o número de entrecascos por metro de longitude em toda a longitude da peça, ou medindo a longitude e/ou a largura do rectângulo em que se inscreve, expressando o resultado em centímetros ou em percentagem da longitude e/ou largura da superfície considerada (face ou canto¹⁰²). Em alternativa regista-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 71).

IV.C.5.I Borne

O borne corresponde aos últimos anéis de crescimento da árvore, sendo a sua dimensão muito variável. Normalmente detecta-se a sua presença pela coloração mais clara devido ao elevado conteúdo de açúcares e amidos, sendo a zona mais propensa a ataques de fungos e insectos. A sua medição efectua-se seleccionando a zona da peça em que o borne mais se manifesta (face ou canto) e mede-se a sua largura. Em alternativa regista-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 71).

IV.C.5.J Descaio

Descaio é a superfície arredondada original do tronco que se manifesta por vezes nas arestas de peças de madeira serrada. Esta singularidade afecta a qualidade estética da peça e diminui a secção resistente. A medição pode ser efectuada medindo a longitude do descaio expresso em centímetros ou em percentagem da longitude. Se se manifestar em mais de uma aresta somam-se as diferentes longitudes. Outro processo de medição consistem em medir a maior dimensão do descaio expresso em milímetros ou numa fracção relativa à dimensão da peça. Em alternativa regista-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 72).

Na norma Portuguesa o descaio mede-se através do quociente entre a projecção do defeito na face ou no canto e a largura total dessa face ou desse canto (Sanz & Et al., 2007). Na construção, a desvantagem é em geral visual, mas pode conduzir a problemas devido à ausência de superfície de pregagem (Wing, 2009), nomeadamente nos tipos estruturais de reticulados leves.

IV.C.5.K Fendas

As fendas podem ocorrer na sequência do processo de secagem, ou desenvolver-se ao longo do tempo de serviço dos elementos. Propagam-se na direcção das fibras da madeira, resultando na sua separação, sendo o efeito na resistência uma função do tipo de esforço a que o elemento está sujeito (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 14). Nas vigas de madeira maciça de grande secção, as fendas ocorrem porque as zonas superficiais secam mais rapidamente que a matéria interior. Ocorrem normalmente no primeiro Inverno em ambientes interiores aquecidos, podendo evitar-se se as vigas estiverem bem secas (o que pode requerer anos), ou através do tratamento das superfícies com óleo para retardar a secagem à superfície. As fendas nos topos são as que podem enfraquecer mais a resistência da madeira, tendo as restantes efeitos mais cosméticos que estruturais (Wing, 2009).

Uma fenda é a separação das fibras produzida em sentido longitudinal. As fendas podem ser de contracção, se produzidas no processo de secagem), ou de congelamento se provocadas por raios, por abatimento, etc. Um tipo especial de fenda, consiste na separação de anéis de crescimento contíguos. Este defeito na América do Norte e na construção reticulada, implica

¹⁰² Aba seria uma designação mais apropriada.

que os elementos afectados não podem ser utilizados como vigas e como elementos em flexão (Wing, 2009).

As fendas distinguem-se também pelo local onde surgem: fendas de face, de canto (aba), de topo e repassadas. As fendas de face e de canto (aba) podem afectar ou não os topos. Uma fenda é repassada quando se desenvolve entre duas superfícies opostas. A medição das fendas faz-se medindo a sua longitude e determinando a distância entre duas linhas perpendiculares ao eixo da peça que passem pelos extremos da fenda. Em alternativa regista-se a sua presença. No caso do descolamento de anéis, se este se manifesta sobre a face ou sobre o canto mede-se como para as outras situações. No caso de se manifestar apenas em um ou dois extremos da peça anota-se apenas a sua presença (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 74).

IV.C.5.I Deformações

As deformações consideradas na norma EN 1310 são a curvatura de face (flecha) e de canto, a meia cana e a hélice.

A curvatura de face e canto é a perda de alinhamento longitudinal de uma peça, podendo ser de face ou de canto, segundo a superfície que fica encurvada. Mede-se a flecha em milímetros em peças até 2,00m. Em peças maiores de 2,00m, mede-se a flexa para uma dimensão longitudinal de 2,00m no ponto de maior deformação (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Na América do Norte, segundo a prática comum, embora a curvatura de face (*bow*) seja admitida, a de canto (*crook* - face lateral), uma vez que é originada por uma alteração da humidade e por um desalinhamento das fibras da madeira em relação à geometria da peça, condiciona o seu uso na construção reticulada (Wing, 2009).

A meia cana é a deformação de uma peça no sentido da largura. Pode surgir pela diferença entre a contracção radial e a tangencial. Neste caso mede-se a flexa máxima da peça, expressa em milímetros ou em percentagem da largura (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Na construção, é um defeito que normalmente origina a desagregação das ligações aparafusadas e pregadas (Wing, 2009).

A hélice é a deformação de uma peça em que uma face se separa do plano estabelecido pelos planos de referência. A causa principal é a presença de madeira juvenil. A medição consiste em obter as dimensões da deformação máxima sobre uma longitude de 2,00m expressa em milímetros ou em percentagem da largura (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). Na América do Norte (IBC), as peças com este defeito (*twist*) não são consideradas como utilizáveis na construção de estruturas reticuladas leves (Wing, 2009).

IV.C.5.M Medula e madeira juvenil

A presença de medula não é problemática em si do ponto de vista da resistência, mas pode ser um indício da presença de madeira juvenil (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 90). A madeira juvenil surge em algumas espécies de coníferas nos primeiros anéis de crescimento. A sua estrutura anatómica é diferente da madeira adulta, apresentando valores de contracção longitudinal elevados. As peças com elevada percentagem de madeira juvenil depois de secas produzem elevadas deformações de face e de canto. Identifica-se a madeira juvenil pela presença de anéis de crescimento anormalmente largos, associados a uma forte curvatura (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 92).

IV.C.6 CLASSIFICAÇÃO DAS MADEIRAS

A variabilidade dos componentes de madeira serrada tem origem, como foi visto, num conjunto de defeitos como o número e localização dos nós, o desvio do fio da madeira em relação ao eixo da peça, o descaio, os empenos e as fendas. A forma de controlar a qualidade da madeira consiste em garantir que um determinado lote de madeira tem uma determinada classificação (Negrão & Faria, 2009).

O termo classificação engloba simultaneamente três propriedades: a resistência, a rigidez e a densidade (Cachim, 2007). A determinação das propriedades da madeira pode realizar-se mediante a utilização de diferentes processos. Estes podem classificar-se em destrutivos e não destrutivos. A classificação visual da madeira serrada é um processo não destrutivo. A caracterização mecânica de uma espécie realiza-se mediante ensaios destrutivos numa máquina de ensaios que pode determinar os valores de resistência à flexão, módulos de elasticidade, resistência à tracção, etc. Os ensaios podem ser executados utilizando provetes sem defeitos e em alternativa com os defeitos encontrados nas peças comercializadas (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 31). Os métodos não destrutivos são sistemas indirectos de determinação da qualidade mecânica da madeira. Os métodos mais habituais são os de classificação visual ou automática e os métodos baseados na avaliação do módulo de elasticidade e na previsão da resistência (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 32).

A resistência de qualquer espécie pode variar de 10 para 1 entre a peça mais resistente e a menos resistentes extraídas de um mesmo tronco de árvore. O processo de classificação da madeira baseia-se no pressuposto que é possível estimar a resistência da madeira através de características com ela relacionada. Uma vez que as peças de madeira têm que ficar aptas a poderem ser utilizadas, o processo de classificação terá de ser realizado através de métodos não destrutivos, sendo necessário que cada peça de madeira seja classificada individualmente. As técnicas de classificação por inspecção visual são falíveis uma vez que apenas detectam os defeitos visíveis.

As principais vantagens da classificação das madeiras prendem-se com o facto se de evitarem as combinações espécie/origem/resistência, facilitando o trabalho de projectistas e produtores. No caso do projectista é apenas necessário definir uma classe de resistência sem a preocupação de escolha da espécie adequada (relativamente à resistência, uma vez que no que se refere à durabilidade já não é assim). A classificação no espaço europeu segue o estipulado na norma EN 1408 estando as classes de resistência para madeira maciça definidas na EN 338:2003. Segundo esta norma estabelecem-se doze classes de resistência para as coníferas e para o Choupo (de C14 a C50) e seis classes para as dicotiledóneas (D30 a D70)¹⁰³. A distinção entre resinosas e dicotiledóneas deve-se ao facto de as folhosas serem em geral mais densas mas as suas propriedades de resistência não serem proporcionalmente elevadas. O Choupo é uma excepção e como tal é classificado de acordo com as coníferas (Cachim, 2007).

Efectua-se o agrupamento das madeiras por qualidades e espécies para enfrentar o problema da variabilidade da madeira de modo a poder tratar a madeira como material mais homogéneo para que as madeiras de um mesmo lote possam ser consideradas como tendo as mesmas propriedades (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 46).

¹⁰³ A letra C é indicativo de *coniferous* e a letra D de *deciduous*.

Os critérios de classificação de um componente são diferentes se a madeira tem um fim decorativo ou estrutural. No primeiro caso são considerados os aspectos estéticos e de trabalhabilidade da madeira. No segundo caso são consideradas as propriedades resistentes. Uma madeira aceitável do ponto de vista estético pode não o ser do ponto de vista estrutural e vice-versa. Por exemplo, a madeira azulada devido ao ataque de fungos cromogéneos embora não seja afectada na sua qualidade estrutural é evidentemente afectada no seu aspecto. Por outro lado, há casos em que a “podridão incipiente” pode ter até um interesse estético (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 47).

IV.C.6.a Classes de qualidade

Na Europa as normas de classificação visual desenvolveram-se através de processos paralelos, ou seja, cada país caracterizou as espécies utilizadas tradicionalmente na construção na sua área geográfica (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 77).

IV.C.6.b Classificação visual

A EN 14081-1:2005 define os requisitos que as normas de classificação visual e mecânica que as madeiras devem possuir. Em Portugal existe a norma “NP 4305:2005 Madeira serrada de Pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual” que classifica a madeira de Pinheiro bravo para utilização em estruturas, atribuindo duas classes de resistência, a classe “E, madeira para estruturas” e a classe “EE, madeira para estruturas de boa qualidade” (cf. Tabela 7). A integração da classificação visual no sistema de classificação por resistência é realizada através da norma “NP EN 1912:2000. Madeira para estruturas. Classes de resistência. A atribuição de classes de qualidade e espécies”. No caso português apenas a madeira de classe E se encontra integrada tendo-lhe sido atribuída a classe C18 (Cachim, 2007). A norma estabelece que as peças que apresentem ataque de fungos de podridão ou ataques de insectos devem ser rejeitadas. A presença de fungos cromogéneos nas peças é aceitável desde que dentro de valores que não comprometam a sua utilização.

A norma NP 4305:2005 resultou de trabalhos desenvolvidos no LNEC na década de 1990, correspondendo a um sistema de classificação visual de madeira de Pinho bravo, respeitando as exigências das normas europeias em vigor, permitindo apoiar o projecto de estruturas de madeira em Pinho bravo, e em acordo com as regras do Eurocódigo 5 (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 16).

Os sistemas nacionais de classificação visual de madeiras assentam em normas aplicáveis apenas a um conjunto reduzido de espécies e definem classes de qualidade associadas à limitação de defeitos. São exemplos de normas nacionais: a norma alemã DIN 4074.1 (Pinho, Espruce, Abeto e Cipreste); a norma nórdica INSTA 142, aplicável às mesmas resinosas da norma alemã; a norma espanhola UNE 56544 (diversas espécies de Pinho); norma francesa B52-001 (Carvalho); norma portuguesa NP 4305 (Pinho bravo) (Negrão & Faria, 2009).

As normas de classificação visual aplicam-se a madeira serrada, sem se proceder a colagens e no formato de vigas ou pranchas. Para além das normas nacionais dispõe-se das normas europeias EN 975-1 (1995) e EN 975-2 (2004) para folhosas (Choupo, Carvalho e Faia) e a EN 1611-1 (1999) para resinosas (Espruce, Abeto, Pinho e Pseudotsuga) (Negrão & Faria, 2009). Segundo Negrão e Faria (2009, p. 38) podem usar-se em paralelo normas fiáveis dos países com mais tradição na construção em madeira já que estas resultam de campanhas experimentais muito exaustivas

A classificação visual pode ser efectuada em qualquer altura, inclusive quando já está colocada em obra (Cachim, 2007) tendo vantagens e inconvenientes. É uma técnica simples,

não necessitando de equipamentos dispendiosos, e de fácil compreensão, mas depende de alguma subjectividade por parte do classificador. É segura para o cliente, mas ineficiente para o produtor já que subestima a qualidade resistente da madeira. Por fim, a classificação tem de ser realizada peça a peça mas com rapidez para poder ser economicamente viável. (Negrão & Faria, 2009).

A influência dos nós nas peças de madeira para usos estruturais é determinada pelo KAR (*Knot Area Ratio*). Para determinar o KAR, parte-se do pressuposto que cada nó é um cone cujo vértice tem origem na medula e determina-se num dos topos a projecção dos vários nós existentes na peça. No caso de a medula não estar presente na peça projecta-se a sua posição imaginária no exterior da peça, no mesmo plano do topo. O KAR total é então a percentagem da área da projecção dos nós no topo da peça. O KAR marginal é a percentagem da área da projecção dos nós nas zonas marginais do topo da peça. As zonas marginais são zonas correspondentes a $\frac{1}{4}$ da área do topo próximas de cada uma das faces.

Tabela 7 - Classificação visual da madeira estrutural de *Pinus pinaster* em Portugal (Sanz & Et al., 2007)

Características e defeitos da madeira		Classe de qualidade		
		Classe EE	Classe E	
Nós	KAR marginal	<1/5	<1/2	>1/2
	KAR total	<1/5	<1/2	<1/3
Direcção do fio		<1/10	<1/6	
Taxa de crescimento		<6 mm	<10 mm	
Fendas	Não repassadas	Fendas superficiais com $l_f < 300$ mm podem ser ignoradas.		
		$l_f < 1/4 l$ e $l_f < 600$ mm	$l_f < 1/4 l$ e $l_f < 900$ mm	
		Não mais do que uma fenda com o comprimento máximo, por cada metro.		
	Repassadas	Permitidos só nos topos	Permitidas só nos topos	
	Empenos		$l_f < 600$ mm e $l_f < 1,0 x_a$	$l_f < 1,5 x_a$
Curvaturas		<1/4 _b ; <1/4 _a no comprimento total	<1/3 _b ; <1/3 _a no comprimento total	
		<1/3 _b ; <1/3 _a ao longo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)	<1/2 _b ; <1/2 ao largo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)	
	Face (em 2m)	Se $b = 35$ mm X <30mm; Se $b > 75$ mm X <10 mm (interpolares para valores de espessura intermédios)		
	Canto (em 2m)	Se $a = 50$ mm Y <10mm; Se $a > 250$ mm Y <5 mm		
	Em hélice (em 2m)	Z <1,5mm por cada 25 metros de largura da peça		
	Em meia-cana	Xt <1 mm por cada 25 mm de largura da peça		
Bolsas de resina e casca inclusa	Não repassadas	Sem limites caso sejam mais curtas que a largura da peça. Se tal não se verificar, aplicam-se os limites das fendas.		
	Repassadas	Sem limites caso o seu comprimento seja <1/2 da largura da peça. Se tal não se verificar, aplicam-se os limites das fendas.		
Medula		Não admitida	Admitida	

Notas: l: comprimento; a: largura; b: espessura; KAR total: índice de nós na secção total. Indica a proporção da secção transversal de uma peça ocupada pela projecção de um nó ou de um grupo de nós; KAR marginal: índice de nós na secção marginal. Indica a proporção de uma secção marginal ocupada pela projecção de um nó ou de um grupo de nós

IV.C.6.c Classificação mecânica

Os países mais desenvolvidos com tradição na construção em madeira (Europa do norte e central, EUA, Canadá, Austrália e Japão) utilizam o sistema de classificação mecânica de forma generalizada. Estudos demonstraram que há uma grande diferença de resultados entre a classificação manual e a medição de resistência real obtida através de ensaios destrutivos. Os sistemas de classificação mecânica visam melhorar os resultados da classificação (Sanz & Et al., 2007). Usam-se dois sistemas de classificação: o sistema controlado pelo produto e o sistema controlado pela máquina. (Negrão & Faria, 2009).

O modelo de equipamento de classificação mecânica mais utilizado permite a medição da rigidez em flexão, ou seja mede-se a carga necessária para obter uma determinada deformação. Este modelo representa actualmente cerca de 95% do total das máquinas de

calibração utilizadas. O processo não destrutivo é bastante simples e consiste em passar as peças de madeira num sistema de ensaio de flexão em três pontos de carga (Cachim, 2007). Outros métodos são os de vibração, micro-ondas e ultra-sons. Podendo ainda ser combinadas medições de parâmetros físicos e anatómicos (densidade e nós, por exemplo) (Sanz & Et al., 2007).

Através do ensaio a madeira é agrupada em classes, as quais podem ser relacionadas com valores característicos de resistência, massa volúmica e rigidez, entre outros. A classificação mecânica conduz a melhores resultados, atribuindo à madeira em geral classificações mais elevadas. Requer contudo um investimento superior, sendo necessário efectuar constantemente um controlo do equipamento e dos resultados (Cachim, 2007).

IV.C.6.d Classes de resistência

As classes de resistência são uma forma de classificar a madeira para estruturas através da atribuição das principais propriedades físicas e mecânicas a uma dada população de peças. Pretende-se assim tratar as estruturas de madeira da mesma forma que o betão e o aço, bastando assim ao projectista definir a classe de resistência que usa no cálculo, cabendo ao construtor e à fiscalização garantir que a madeira aplicada foi classificada em classes de qualidade associadas a uma classe de resistência definida pelo projectista (Negrão & Faria, 2009).

Como já foi referido, as classes de resistência mecânica definidas na norma europeia EN 338:2003 “Structural Timber strenght classes” encontra-se dividida nas classes C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45, C50, para as resinosas (inclui também o choupo) e D30, D35, D40, D50, D60, D70 para as folhosas. O número associado à letra é o valor da resistência característica à flexão na direcção do fio em N/mm². Na especificação de projecto, não é necessário definir com rigor absoluto a espécie de madeira, bastando por exemplo referir-se que “a madeira a utilizar será de Pinho ou outra resinosa da classe C18 (EN338:2003) (Negrão & Faria, 2009).

Tabela 8 - Classes resistentes de madeira serrada (EN 338) (Sanz & Et al., 2007).

	EC 5 (1)	C16	C18	C24	C27	C30
Propriedades resistentes em N/mm²						
Flexão	fm,k	16	18	24	27	30
Tracção paralela	ft,0,k	10	11	14	16	18
Tracção perpendicular	ft,90,k	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
Compressão paralela	fc,0,k	17	18	21	22	23
Compressão perpendicular	fc,90,k	2,2	2,2	2,5	2,6	2,7
Cortante	fv,k	1,8	2,0	2,5	2,8	3,0
Propriedades de rigidez em kN/mm²						
Mód. Elasticidade paralelo médio	Eo, médio	8	9	11	12	12
Mód. Elasticidade paralelo 5º percentil	E0, k	5,4	6,0	7,4	8,0	8,0
Mód. Elasticidade perpendicular médio	E90, médio	0,27	0,30	0,37	0,40	0,40
Módulo cortante médio	G	0,50	0,56	0,69	0,75	0,75
Densidade em Kg/m³						
Densidade característica	pk	310	320	350	370	380
Densidade média	p média	370	380	420	450	460

(1) Eurocódigo 5

Na norma EN 338 definem-se três propriedades chamadas “indicadoras” (cf. Tabela 8). Que permitem definir a qualidade mecânica de um determinado lote de madeira. A resistência à flexão (módulo de rotura), a rigidez (valor do módulo de elasticidade à flexão longitudinal) e a densidade característica de uma madeira. As duas primeiras dependem da qualidade

específica do material, embora a qualidade afecte mais a resistência que o módulo de elasticidade e a última, da espécie (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013).

O factor espécie estabelece em princípio os valores máximos possíveis da resistência, elasticidade e densidade da madeira. A qualidade específica da madeira reduz depois estes valores.

IV.C.6.e Relação - classes de qualidade e resistência

Não é aceitável a utilização no cálculo estrutural, para fins de verificação de segurança, de valores de resistência retirados de quadros descritivos das propriedades de diferentes madeiras (fontes bibliográficas). Os elementos de dimensão estrutural são afectados pela presença de defeitos e pelo factor escala, não podendo haver uma transposição directa dos valores teóricos (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 17).

A norma EN 1912:2004-A2:2008 associa classes de qualidade visuais facilmente fiscalizáveis em obra a classes de resistência representadas por um conjunto de valores característicos de resistência mecânica (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009). A norma EN 1912:2004 “*Structural Timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species*” relaciona a madeira de várias espécies com os diversos sistemas nacionais de classificação em classes de qualidade e a correspondente classificação em classes de resistência (cf. Tabela 9). A única espécie com norma de classificação em classes de qualidade existentes em Portugal é o Pinho bravo (*Pinus pinaster Ait.*) através da norma NP 4305: 1995 - “*Madeira serrada de Pinho bravo para estruturas - classificação visual*” que permite duas classes de qualidade a E e a EE, correspondendo aproximadamente às classes C18 e C35 da EN 338, embora a EE (Especial Estruturas) não seja reconhecida como C35 por não aparecer definida na EN 1912. Na prática não é possível encontrar madeira classificada EE em Portugal (Negrão & Faria, 2009).

Deve-se salientar ainda que as fragilidades do processo de classificação podem conduzir à comercialização de componentes que não cumpram os requisitos de limitação de defeitos previstos nas normas. Este facto reforça a necessidade dos técnicos envolvidos no projecto, fabrico e montagem de estruturas de madeira terem conhecimentos mínimos de classificação de madeiras para que durante a execução de obras seja rejeitada qualquer peça defeituosa que possa ter passado o crivo da classificação (Negrão & Faria, 2009, p. 43).

Tabela 9 - Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (EN 1912:2004) (Negrão & Faria, 2009, p. 41).

Espécie de Madeira	Classe de qualidade	Classes de resistência
Pinho bravo (<i>Pinus pinaster Ait.</i>)	E (NP 4305)	C18
Casquinha (<i>Pinus sylvestris L.</i>)	SS (BS 4978)	C24
	GS (BS 4978)	C16
Espruce (<i>Picea abies Kars</i>)	S13 (DIN 4074)	C30
	S10 (DIN 4974)	C24
	S7 (DIN 4074)	C16

IV.C.7 TIPOS DE TERRENO

O tipo de terreno onde a construção é implantada condiciona a escolha e dimensionamento das fundações e o cálculo das estruturas, nomeadamente no que diz respeito à resposta à acção dos sismos. A deformabilidade dos solos e a resistência são as características do terreno em profundidade que condicionam a escolha do tipo de fundações.

Em Portugal (RSA), divide-se o território em quatro zonas sísmicas definidas por ordem decrescente de importância (A, B, C e D). O Eurocódigo divide os solos em cinco categorias principais: A - Rocha, podendo incluir 5m no máximo de material superficial fraco; B -

Depósitos de areias muito densas, gravilha ou argila muito rígida com várias dezenas de metros a centenas de metros de espessura; C - Depósitos de areias densas ou medianamente compactas, ou argilas rígidas com espessuras de dezenas ou centenas de metros; D - Depósitos de areias soltas a médias; E - Estrato aluvionar.

IV.D Segurança contra riscos de incêndio

O comportamento da madeira em termos de reacção ao fogo é deficiente por ser um material combustível. No entanto, em termos genéricos as estruturas de madeira têm uma resistência ao fogo superior ao das estruturas de betão armado ou das estruturas metálicas (Negrão & Faria, 2009). A madeira é normalmente classificada como pertencente à classe M3 ou M4 no que respeita à reacção ao fogo, de acordo com as especificações do LNEC E326.

IV.D.1 RESISTÊNCIA AO FOGO

Para a habitação unifamiliar, os regulamentos nacionais não estabelecem exigências relativamente aos componentes estruturais. Segundo o n.º 3 do art.º 15 do Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios (RTSCIE), uma habitação unifamiliar pertence à utilização tipo I e à 1ª categoria de risco (menos de 9,00m de altura e menos de 1 piso abaixo do plano de referência) (Portugal, 2008, p. 7918) e por esse motivo, não tem exigências relativas à resistência ao fogo de elementos estruturais (Portugal, 2008, p. 9056). Apenas se estabelece, segundo o n.º 11 Artigo 10º “Coberturas” do RTSCIE (Regulamento Técnico de Segurança Contra Incêndio em Edifícios) (Portugal, 2008, p. 9054), que o revestimento exterior de coberturas inclinadas deve ser no mínimo da classe de reacção ao fogo C-s2 d0.

Em geral a verificação da segurança de estruturas de madeira pode ser realizada através dos procedimentos descritos na norma “EN 1995-1-2:2004. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design” (Cachim, 2007). Segundo o anexo C da norma EN14081-1:2006 a madeira estrutural serrada de secção rectangular pode classificar-se sem necessidade de ensaio complementar na classe de reacção ao fogo D-s2, d0 (classe segundo a tabela 1 do anexo da Decisão da Comissão 2000/147/CE). Esta classe refere-se a uma madeira com densidade média de 350Kg/m³ e uma espessura mínima de 22mm. A norma EN13501-1 especifica os ensaios e a classificação que se devem aplicar à madeira se se desejar melhorar a reacção ao fogo mediante a aplicação de tratamentos retardantes ao fogo (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 43).

IV.D.2 PROTECÇÃO AO FOGO

O comportamento da madeira ao fogo pode ser melhorado protegendo a madeira com tratamentos ignífugos ou com a interposição de barreiras protectoras, permitindo desta forma um atraso na combustão, aumentando assim o tempo de resistência ao fogo (Cachim, 2007). As placas derivadas de madeira são frequentemente utilizadas como meio de protecção contra o fogo, quer de elementos de madeira quer de outros materiais, uma vez que apesar de combustível, a madeira é um bom isolante térmico (Cachim, 2007).

IV.E Acústica

O Regulamento Geral do Ruído (RGR) “estabelece o regime de prevenção e controlo da poluição sonora, visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações” (Portugal, 2007). O RGR define um conjunto de disposições que são assumidas pelo Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios - RRAE (Portugal, 2008).

Os parâmetros acústicos a ter em conta para os edifícios habitacionais e mistos, definidos no artigo 5.º são os seguintes:

1) Índice de isolamento sonoro a **sons de condução aérea**:

a) $D_{2m,nT,w}$ - índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre o exterior do edifício e os quartos ou zonas de estar da habitação. O valor limite a satisfazer depende da zona de construção, (zonas mistas ou sensíveis reguladas pelo RGR) e é aplicado aos quartos ou zonas de estar dos fogos. $D_{2m,nT,w} \geq 33\text{dB}$, em zonas mistas, $D_{2m,nT,w} \geq 28\text{dB}$ em zonas sensíveis.

b) $D_{nT,w}$ - índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre compartimentos de um fogo como locais emissores e quartos ou zonas de estar **de outro fogo**.

c) $D_{nT,w}$ - índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, entre locais de **circulação comum do edifício**, como locais emissores, e quartos ou zonas de estar dos fogos. Os valores a satisfazer dependem da natureza do local emissor: um caminho de circulação vertical com ascensor ou uma garagem.

2) Isolamento a **sons de percussão**:

d) $L'_{nT,w}$ - índice de isolamento sonoro a sons de percussão, no interior dos quartos ou zonas de estar dos fogos como locais receptores, proveniente de uma percussão normalizada sobre pavimentos **de outros fogos** ou de locais de circulação comum do edifício como locais emissores. Este é um parâmetro que em princípio não se aplica a habitações unifamiliares

3) Avaliação do **ruído de equipamentos**:

e) $L_{Ar,nT}$ - nível de avaliação do ruído particular de **equipamentos colectivos do edifício**, tais como ascensores, grupos hidropressores, sistemas centralizados de ventilação mecânica, automatismos de portas de garagem, postos de transformação de corrente eléctrica e instalação de escoamento de águas, no interior dos quartos e zonas de estar dos fogos. O valor limite depende do funcionamento e tipo.

Para as moradias unifamiliares as exigências acústicas aplicam-se relativamente às diferenças de níveis acústicos entre o exterior e os quartos e zonas de estar. Não se aplicam limites ao isolamento entre quartos e zonas de estar do mesmo fogo.

Segundo o LNEC (LNEC, 2012), no documento de Homologação do sistema de toros da Rusticasa:

"Para que as paredes de fachada dos edifícios habitacionais realizados segundo o sistema RUSTICASA verifiquem estas condições, recomenda-se que o índice de isolamento sonoro a sons de condução aérea, R_w , da caixilharia utilizada nas mesmas seja, no mínimo, de 33 dB e de 28 dB, consoante seja aplicada em zonas mistas ou em zonas sensíveis" (LNEC, 2012).

IV.F Ambiente (Resíduos de construção, Sistemas de avaliação)

No Código dos Contratos Públicos - Decreto-Lei n.º 18/2008 de 29 de Janeiro, as preocupações ambientais estão contempladas em diversos artigos (Portugal, 2008e). No n.º 6 do Art.º 40.º, prevê-se que:

"Os aspectos da execução do contrato constante das cláusulas do caderno de encargos podem dizer respeito a condições de natureza social ou ambiental, relacionadas com tal execução" (Portugal, 2008e).

Para além disso, relativamente às especificações técnicas que devem constar dos cadernos de encargos, em termos de:

"(...) desempenho ou de exigências funcionais, incluindo práticas e critérios ambientais, desde que sejam suficientemente precisas" [alínea c) do n.º1 do Art.º 48], pode-se "prever especificações pormenorizadas ou, em caso de necessidade, parte destas, tal como definidas pelo rótulo ecológico europeu ou por qualquer outro rótulo ecológico [n.º7 do Art.º 48]" (Portugal, 2008e).

O Decreto-Lei refere ainda a fixação de metas para o aumento do peso relativamente à preparação para reutilização e reciclagem de resíduos urbanos como a madeira (alínea a) n.º 6, art.º 7º).

IV.F.1 RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO

O Decreto-Lei n.º 46/2008, de 12 de Março, alterado pelo Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de Junho, transpõe a Directiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, relativa aos resíduos, estabelece o Regime das operações de gestão de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). O conteúdo do Decreto aplica-se às operações de gestão de resíduos cujo objectivo consista em reduzir a sua produção e ao mesmo tempo melhorar a eficiência na sua utilização. É estabelecido um princípio de hierarquia dos resíduos que consiste em respeitar uma ordem de prioridades nas opções de prevenção e gestão de resíduos (n.º 1 do art.º 7º): a) Prevenção e redução; b) Preparação para a reutilização; c) Reciclagem; d) Outros tipos de valorização; e) Eliminação. No anexo V “Exemplos de medidas de prevenção de resíduos”, consta o recurso a medidas que promovam a utilização eficiente dos recursos, a “promoção da concepção ecológica” e “No contexto da celebração de contratos no sector público e privado, integração de critérios ambientais e de prevenção de resíduos nos concursos e contratos” (Portugal, 2011).

IV.F.2 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Os sistemas de certificação voluntária da construção são sistemas de desempenho ambiental dos edifícios. O seu objectivo é promover a construção sustentável, integrando os princípios da eco-eficiência, as condicionantes económicas e os aspectos socioculturais.

A relação entre a utilização da madeira nos edifícios e os sistemas de avaliação da sustentabilidade foram alvo de um estudo (Overview of green building rating systems and their relationship(s) with wood) que concluiu que a importância da utilização da madeira varia muito entre os diversos sistemas, desde 25% (Built Green™ Canada) dos pontos disponíveis até menos de 10% (SB Tool, LEED, NC US, and BREEAM Code for Sustainable Homes). A utilização da madeira refere-se às seguintes categorias consideradas nos vários sistemas: madeira certificada, materiais reciclados, materiais locais, técnicas de construção, minimização de resíduos, impactos no ciclo de vida e qualidade do ar interior. Embora o estudo conclua que o uso da madeira por si só não tem um grande impacto no número total de créditos obtidos, para o caso das habitações unifamiliares, concluiu-se que o uso da madeira confere uma vantagem ligeira em relação ao uso de outros materiais (Light House, 2009).

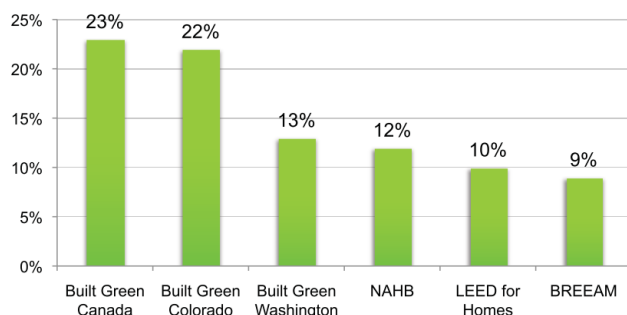


Fig. 205 - Proporção de créditos relacionados com a utilização da madeira em edifícios de habitação unifamiliar (Light House, 2009).

IV.F.2.a BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) é um processo de avaliação de desempenho ambiental (BRE Group, 2013) que tem em conta uma abordagem ao ciclo de vida das intervenções. Foi lançado no Reino Unido em 1990 e é gerido pela BRE Global e apoiado noutros países por National Scheme Operators. Todo o sistema tem sido actualizado com regularidade.

Pretende ser um sistema de pontuação transparente, simples, flexível e fácil de entender que permite quantificar o desempenho ambiental de um edifício. O sistema BREEAM pode ser utilizado em qualquer tipo de edifício, assumindo formatos adaptados a alguns países como o Reino Unido, Alemanha, Holanda, Noruega, Espanha, Suécia e Áustria. Existe ainda o formato internacional que permite certificar qualquer projecto individual em qualquer região do globo.

A metodologia adequada à construção nova é a BREEAM International New Construction (NC). Esta pode ser utilizada para avaliar a sustentabilidade de soluções na fase de projecto e de construção de edifícios residenciais e comerciais. Os factores de contexto são reconhecidos pela metodologia, podendo ser integradas condicionantes locais como a cultura e o clima.

As categorias consideradas são: Gestão, Saúde, Bem-estar, Energia, Transportes, Materiais, Resíduos, Uso do solo, Ecologia, Poluição e Inovação. A avaliação consiste em atribuir créditos a cada categoria que tem um peso específico, permitindo obter resultados finais que variam entre aprovado, bom, muito bom, excelente e excepcional. O processo pode começar na fase de programação de um projecto através da integração de um assessor BREEAM. São abrangidos tipos de edifícios considerados standard que incluem os residenciais, de serviços), industriais e de comércio, sendo todos os outros considerados não standard. Dois tipos de certificados podem ser emitidos em função da fase analisada: Um certificado temporário se a fase em análise for a de projecto (design stage) ou um certificado final BREEAM se a análise incidir na fase pós-construção (BRE Group, 2013). Os elementos que conduzem à avaliação final são os seguintes: sistemas de pontuação, standards mínimos, peso de cada secção, avaliação e créditos e uso de regulamentos e standards locais.

As categorias “Materiais” e “Resíduos” são aqueles em que a utilização da madeira é importante, sendo mencionada recorrentemente ao longo do documento de apoio “BREEAM International new construction technical manual”. No âmbito da categoria “Mat 01 Life cycle impacts” o objectivo do sistema consiste em reconhecer e encorajar o uso da especificação de materiais de construção com baixo impacto ambiental (incluindo carbono incorporado ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Deve-se notar que se exige a utilização de instrumentos robustos de avaliação do ciclo de vida (LCA) com base na “BREEAM International Mat 01 calculator”. Também na categoria “Mat 03 Responsible sourcing of materials”, o objectivo consiste em reconhecer e encorajar a especificação de materiais de proveniência responsável para os elementos chave do edifício. Define-se um pré-requisito que consiste em garantir que toda a madeira presente no projecto seja proveniente de uma cadeia legal florestal e comercial. A demonstração da proveniência responsável dos materiais presentes em cada elemento chave do edifícios, justificada por um sistema de certificação (como o BRE Global BES6002 Product certification, PEFC, FSC) corresponde à atribuição de créditos por elemento construtivo (Estrutura, pavimento, piso intermédio, cobertura, etc. A categoria “Wts 01 Construction waste management” pretende promover a eficiência dos recursos por via de uma gestão dos resíduos de construção (BRE, 2013).

IV.F.2.b LEED

O Sistema LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) teve início em 2000, desenvolvido pelo U.S. Green Building Council. É actualmente o sistema mais difundido em todo o mundo. O sistema contempla também as diferenças de contexto geográficas e climáticas e está em permanente actualização, tendo a versão LEED 2009 sido resultado de uma revisão com base em três aspectos principais: harmonização, peso dos critérios (com maior incidência na eficiência energética e na redução de emissões de CO₂) e regionalização.

O sistema LEED tem diversas variantes em função do tipo de construção: construção total, envolvente construída, interiores comerciais e edifícios existentes. Na categoria da construção total, incluem-se os grupos “nova construção”, “comércio”, “saúde” e “casas”. A categoria “casas” (“Homes”) é apropriada para edifícios residenciais até 3 pisos. O sistema tem grupos de classificação (*rating systems*) que são grupos de requisitos para projectos a certificar. Em cada categoria há pré requisitos a serem cumpridos e desempenhos a contabilizar, recompensando-se num projecto aqueles que superam os patamares de referência. As categorias de créditos principais são: implantação sustentável, água, energia e atmosfera, materiais e recursos e qualidade do ambiente interior.

No caso do sistema “LEED Homes”, há categorias de créditos adicionais: a localização-ligações e a consciência/educação. Na categoria “localização-ligações”, encoraja-se a implantação em lugares com envolventes já construídas e o desenvolvimento de vizinhanças amigáveis para os peões e com ligações de transportes eficientes. No caso do parâmetro Consciência-Educação visa-se incentivar os construtores e os promotores a preverem sistemas de gestão e educação relativamente à compreensão e utilização ecológica dos edifícios.

Na categoria Materiais e Recursos, subcategoria MR 1 - “Estrutura eficiente em materiais” (*material-efficient framing*) os pré-requisitos a cumprir consistem em limitar o factor de desperdício nas encomendas através de uma limitação dos materiais em excesso a encomendar para a obra. Os créditos (um ponto) são dados à criação de documentos com indicação precisa dos materiais, dimensões e locais onde são montados. Mais créditos são atribuídos à execução de uma lista com uma ordem de corte detalhada dos elementos de madeira. Outras medidas como a utilização de conjuntos de elementos pré cortados (um ponto), treliças de pavimento tipo “*open-web*” (um ponto), painéis SIP em pavimentos (um ponto) ou coberturas (1 ponto), espaçamento entre montantes maior que 40cm (“oc” medidos a eixo). Uma série de outras medidas que poupem material são elegíveis para contabilizar mais créditos. A subcategoria MR 2. Produtos ambientalmente preferíveis (*environmentally preferable products*) assume como pré-requisitos o uso de Madeira Certificada FSC quando esta seja tropical. As estruturas das paredes exteriores bem como os revestimentos de madeira certificados FSC, ganham créditos (0,5 pontos por componente). Na subcategoria MR 3 - “Gestão de resíduos” os pré-requisitos consistem em investigar a possibilidade e documentar a utilização materiais reciclados ou reutilizados em todos os constituintes do projecto. Os créditos são atribuídos em função dos rácios de redução de resíduos (U.S. Green Building Council, 2013).

IV.F.2.c iiSBE e SBToolPT

A iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment) tem sede em Ottawa no Canadá, foi lançado em 1996 e tem como objectivo principal a promoção de práticas sustentáveis na indústria da construção. Entre outras actividades, desenvolveu um sistema de

avaliação e reconhecimento da construção sustentável: a SBTool que resultou de uma colaboração entre vários países. É um sistema adequado para que terceiros possam desenvolver sistemas de avaliação relevantes tendo em conta condições específicas ou locais através de uma calibração, podendo conter desde 12 até 120 critérios a contabilizar.

O SBTool consiste em dois módulos de avaliação, sendo o primeiro o de “programação” (*pre-Design*) e o segundo o de “avaliação da construção” a ser conduzido nas fases de projecto, construção e operação. Cada módulo divide-se em duas componentes, a “File A” consiste na recolha das definições relevantes para o projecto genérico numa região específica (tipo regional, pesos e requisitos) e a “File B” refere-se à descrição das características específicas do projecto a avaliar. É interessante notar que a SBTool inclui também uma secção na “File B” sobre o processo integrado de projecto que constitui um guia com informação relevante para os projectistas: o IDP (*integrated design process*). O sistema permite ainda escolher o objectivo ou o alcance da avaliação podendo variar da abrangência máxima (com todos os critérios e avaliações) até à mínima (com 14 critérios, 9 dos quais mandatários). A fase da avaliação pode ser qualquer durante o projecto, baseada em dados e métodos de avaliação diferentes (Larsson, 2012).

Os materiais estão contemplados de modo mais directo na categoria B “I”, subcategoria B3 “*use of materials*”, mas também na categoria C “*environmental loads*”, subcategoria C1 “*greenhouse gas emissions*” e C3 “*solid and liquid wastes*”.

A iiSBE Portugal, representa a missão internacional da iiSBE, sendo responsável por adaptar o SBTool à realidade nacional, certificando edifícios e formando peritos qualificados em “Avaliação da Construção Sustentável”. Foi desenvolvido com o apoio da Universidade do Minho e da companhia Ecochoice. A metodologia SBTool^{PT} pretende adaptar a metodologia SBTool ao contexto nacional, procurando também uma harmonização com os standards CEN/TC350 “Sustainability of Construction Works - Assessment of Environmental Performance of Buildings” (Bragança & Mateus, 2011). Pretende também: incluir de forma ampla os parâmetros mais importantes, mas com o objectivo de os reduzir ao essencial de forma a otimizar o seu uso; limitar o uso de critérios subjectivos (eg. inovação e estética); uso de métodos LCA; desenvolver um sistema de avaliação acessível aos intervenientes. A avaliação incide sobre três grupos principais: ambiente, sociedade e economia. A dimensão ambiente divide-se nos seguintes: clima e qualidade do ar, uso do solo e biodiversidade, eficiência energética, materiais e resíduos, água e efluentes. A dimensão sociedade divide-se em: utentes, saúde e conforto, acessibilidade e consciência no uso. A dimensão economia engloba os custos ao longo do ciclo de vida. Cada categoria inclui depois diversos parâmetros a serem analisados.

Na categoria C4 “Materiais e resíduos sólidos”, alguns dos parâmetros podem ser favoráveis à utilização da madeira, em especial o P11 “uso de materiais orgânicos certificados”. A quantificação de cada parâmetro é realizada com recurso a bases de dados (de impacto ambiental de materiais por exemplo), procedendo-se a uma normalização dos parâmetros em termos de uma escala simples em que 0 é o valor convencional de referência e 1 é o melhor valor.

A metodologia SBTool^{PT} tem um módulo específico para cada tipo de edifício, havendo um módulo para edifícios residenciais (SBTool^{PT} - H) (Mateus & Bragança, 2010). O processo de avaliação inicia-se através do registo do projecto na página da Internet da ferramenta SBTool^{PT}, seguindo-se a introdução dos dados de projecto pelo projectista. Na fase seguinte, a iiSBE Portugal verifica se o processo está bem instruído e em caso afirmativo submete-o a

um Avaliador Qualificado em Avaliação da Construção Sustentável (AQACS). Finalizada a fase de análise do perito, procede-se à emissão do Certificado de Sustentabilidade.

IV.F.2.d LiderA

O sistema LiderA é um sistema voluntário de apoio ao desenvolvimento de soluções sustentáveis e da sua avaliação atribuindo certificações com a marca portuguesa LiderA - Sistema de Avaliação da Sustentabilidade. Surgiu a partir de uma investigação desenvolvida por Manuel Duarte Pinheiro, no Departamento de Eng^a Civil e Arquitectura do IST em 2000, foi implantado em 2005 e elaborou as primeiras certificações em 2007. Abrange vários tipos de empreendimento e fases do ciclo de vida. Tem por base um conjunto de 6 princípios de bom desempenho ambiental: Integração local, recursos, cargas ambientais, conforto ambiental, vivência socioeconómica e uso sustentável. Estes princípios desmultiplicam-se em 22 áreas e 43 critérios através dos quais se avalia o desempenho ambiental do objecto avaliado.

O desempenho é classificado através de valores de G a A, estabelecendo-se o nível E como o nível de referência ou de prática actual e o nível A genericamente com um desempenho 50% superior ao nível E. A certificação resultará sempre que se der o caso de, após verificação independente (pelo LiderA), de obtenção de um desempenho de classe mínima C. Nas fases de plano e projecto há um “reconhecimento” e com a fase de obra e operação, “certifica-se” o bom desempenho.

O LiderA editou um manual de apoio a projectos de licenciamento (síntese), incluindo a fase de concepção, tendo em conta que as decisões tomadas na fase de definição são as mais relevantes na procura da sustentabilidade, incluindo o equilíbrio dos custos no ciclo de vida das soluções. As principais etapas de projecto são as definidas na portaria nº 701-H/2008, sendo em cada fase definidos os respectivos objectivos de sustentabilidade. O sistema pressupõe que as exigências legais definidas na legislação são adoptadas como requisitos básicos nas diferentes áreas consideradas, sendo a sua melhoria, entendida como a “procura da sustentabilidade”. Para cada tipologia são definidos os níveis de desempenho que permitam considerar a solução como sustentável. A contabilização dos critérios é realizada através das referidas vertentes e áreas. As ponderações de cada uma das 22 áreas foram obtidas através de inquirição e consenso (Pinheiro, 2010).

O “Manual para projectos de licenciamento com sustentabilidade segundo o sistema LiderA - Síntese executiva” estabelece uma metodologia a considerar em cada fase. Ao nível do **programa preliminar**, da responsabilidade do promotor, entre outras vertentes, a dos recursos deve questionar o fomento da eficiência no uso dos recursos naturais, como a energia, a água e os materiais. Adicionalmente, com relevância para a utilização da madeira, deve-se ter em conta a vertente das cargas ambientais, fomentando a redução das cargas que decorrem das emissões atmosféricas e dos resíduos sólidos entre outros factores como a redução dos custos no ciclo de vida. Ao nível do **programa base** o projectista deve apresentar opções de projecto com base na análise das condicionantes, objectivos e requisitos definidos e disponibilizados no programa preliminar. Na área “materiais”, as questões colocadas são semelhantes às levantadas no programa preliminar, direccionando-se para respostas que contribuam para *“a utilização de materiais locais, certificados ambientalmente, reciclados e/ou renováveis e de baixo impacte, e promover a durabilidade das soluções e dos materiais adoptados”*. Na área “resíduos” direccionam-se as soluções para *“assegurar o tratamento, redução e valorização de resíduos, através da redução da quantidade de resíduos produzidos nas fases de construção, operação e demolição, da*

gestão de resíduos perigosos e promoção da valorização de resíduos”. Na área “Inovação”, a utilização da madeira pode enquadrar-se na promoção de *“inovações estruturais ou pontuais que tenham uma contribuição efectiva para a melhoria do desempenho ambiental do edificado”* e finalmente a consideração dos “custos no ciclo de vida” das soluções. Ao nível do **projecto base**, valoriza-se a *“utilização de materiais provenientes/produzidos a menos de 100 km do local de intervenção”*. Para além deste, mais uma vez, a redução dos resíduos de construção, os “custos no ciclo de vida” e as “inovações” podem referir-se à adopção de soluções estruturais em madeira porque podem ter *“uma contribuição efectiva e eficaz para um ou mais critérios de avaliação, contribuindo eficazmente para a melhoria do desempenho ambiental do edifício”* (Pinheiro, 2010).

IV.F.3 CERTIFICAÇÃO FLORESTAL

IV.F.3.a Forest Stewardship Council

Forest Stewardship Council (FSC) é uma organização fundada em 1993 para responder às preocupações relativas à desflorestação mundial. Desenvolve normas de gestão florestal e de cadeia de custódia, prestando serviços de acreditação. Os princípios da FSC consistem na promoção de uma gestão florestal ambientalmente adequada, socialmente benéfica e economicamente viável. Em Portugal constituiu-se a “Associação para uma Gestão Florestal Responsável” (AGFR) responsável pela regulação do esquema de certificação florestal FSC em território nacional, sendo desde 2010 acreditada como “Escritório Nacional FSC” (National Office) (FSC, 2013).

A FSC emite três tipos de certificados. A Certificação da Gestão Florestal é aplicável a organizações ou agentes com responsabilidade na gestão das florestas. A Certificação de Cadeia de Custódia (ou cadeia de responsabilidade) aplica-se a indústrias ou agentes que transformem, processem ou comercializem produtos florestais. A Certificação de madeira controlada permite a organizações evitar as categorias de madeira consideradas inaceitáveis.

O Certificado de Gestão Florestal é válido por cinco anos e sujeito a verificações anuais. Esta certificação consiste na verificação dos 10 princípios e subsequentes critérios FSC no terreno. Os critérios são: Obediência às leis e princípios do FSC; Posse e direitos de uso e responsabilidades; Direitos dos povos indígenas (não aplicável a Portugal); Relações comunitárias e direitos dos trabalhadores; Benefícios da floresta; Impacte ambiental; Plano de gestão; Monitorização e avaliação; Manutenção de florestas de alto valor de conservação; Plantações (FSC, 2011).

O Certificado de Cadeia de Responsabilidade permite às empresas rotular os seus produtos com a marca FSC, permitindo aos consumidores identificar produtos de florestas com gestão responsável. Esta certificação é essencial para demonstrar a proveniência dos materiais a utilizar na construção. Existem diversos tipos de certificados de Cadeia de Responsabilidade, dependendo da escala e do tipo de operação em causa: certificação individual, múltipla e de projecto.

IV.F.3.b Programme for the Endorsement of Forest Council

“Programme for the Endorsement of Forest Certification” (PEFC) é uma organização internacional não-governamental cujo objectivo consiste em promover a Gestão sustentável da floresta. É um sistema mais adequado a pequenos proprietários e comunidades do que o sistema FSC. O PEFC define critérios de sustentabilidade que depois são utilizados no desenvolvimento de sistemas de certificação nacionais. Abrange toda a cadeia de abastecimento de produtos de base florestal e produtos florestais não lenhosos, garantindo

através da sua marca (PEFC) que são produzidos segundo padrões de ética, ecologia e preocupações sociais.

A Certificação da Gestão Florestal sustentável PEFC reconhece a gestão responsável por parte dos proprietários através da verificação da conformidade com as normas de sustentabilidade PEFC. Os requisitos para as melhores práticas florestais incluem: a manutenção ou aumento da biodiversidade; a manutenção da gama de serviços florestais; a minimização dos produtos químicos ou a sua substituição por alternativas naturais; a protecção dos direitos dos trabalhadores e a sua segurança; o encorajamento do trabalho; a protecção dos direitos dos povos indígenas; a realização de actividades dentro do quadro legal e das melhores práticas.

"No âmbito do reconhecimento internacional do PEFC Portugal para o período 2010-15, a Norma Portuguesa NP 4406:2009 e o Guia Interpretativo da NP4406:2009 do PEFC Portugal constituem os referenciais normativos para a certificação da floresta portuguesa" (PEFC, 2013).

A Certificação da Cadeia de Responsabilidade permite que as empresas que processam, transformam ou comercializam produtos de base florestal, demonstrem que os seus produtos contribuem para a manutenção e melhoria da floresta. A certificação de um produto exige que todas as entidades da cadeia de abastecimento possuam um "Certificado de Cadeia de Responsabilidade" PEFC. A "Cadeia de Responsabilidade" é uma norma internacional cuja última versão é a PEFC ST 2002:20:2013. O sistema de rastreabilidade e contabilização de matéria-prima de origem florestal funciona segundo duas abordagens: o modelo das percentagens e o modelo da separação física. No primeiro caso, normalmente quando os produtos não permitem separar diferentes matérias-primas, os produtos são certificados na proporção da quantidade de madeira certificada. Na segunda situação, normalmente no caso de produtos em que as matérias são facilmente individualizáveis (toros de madeira por exemplo) separam-se os lotes de madeira proveniente de florestas certificadas (PEFC, 2013a).

IV.F.3.c Comércio de madeira

O Regulamento da União Europeia (EUTR) (UE) n.º 995/2010 do Parlamento Europeu e do Conselho de 20 de Outubro de 2010 (Europeu & Europeia, 2010) fixa as obrigações dos operadores que colocam madeira e produtos de madeira no mercado. O regulamento prevê medidas para evitar o comércio ilegal de madeira e as respectivas consequências ao nível da perda de rendimentos, desflorestação, alterações climáticas, perda de biodiversidade e conflitos. É assim proibida a colocação de madeira ilegalmente extraída no mercado da União Europeia e são exigidas "devidas diligências" a todos os operadores da União que colocam produtos de madeira no mercado da EU. As "devidas diligências" consistem em obrigações atribuídas aos operadores no sentido de realizar uma gestão dos riscos através de informação, avaliação e limitação de riscos.

IV.G Durabilidade

Os factores que afectam a qualidade dos componentes de madeira são de ordem climática por um lado e biológica por outro, estando os segundos relacionado com os primeiros. Os factores climáticos englobam a humidade, a temperatura, a luz e a erosão. Os factores biológicos incluem a presença de fungos e de insectos xilófagos (Schein, 1968).

A degradação da madeira depende em grande parte da humidade, *"apenas se conhecendo alguns (poucos) agentes degradadores que atacam a madeira seca, da família dos insectos, com destaque para as térmitas de madeira seca e alguns tipos de carunchos."* (Negrão & Faria, 2009, p. 10). Nas estruturas de madeira o teor de água de equilíbrio deverá

permanecer próximo do intervalo 13%-17%. Esse objectivo consegue-se através de disposições construtivas que garantam a ventilação, evitem o contacto permanente com a água e eliminem as causas de acesso da água às estruturas por capilaridade, condensações, chuva e incidentes. Os tratamentos de preservação não se aplicam em geral em ambientes interiores protegidos, mas nos exteriores em geral as madeiras não possuem a durabilidade natural para o evitar. É desejável protecção com velatura ou pintura e as estruturas devem ser sujeitas a acções de manutenção normalmente em intervalos de três a cinco anos (Negrão & Faria, 2009, p. 10).

A escolha de uma espécie de madeira deve ter por base, para além das propriedades mecânicas e estéticas, a **durabilidade natural** relativamente aos diferentes agentes que podem degradar os componentes de madeira. Se a durabilidade não é natural, a sua impregnabilidade deve permitir a aplicação de um tratamento que lhe confira a durabilidade desejada. Para a eleição do tipo de tratamento em função da classe de uso deve-se consultar a norma EN335. Para informação sobre a durabilidade natural (em relação aos insectos e fungos) e a impregnabilidade das espécies mais importantes deve consultar-se a norma EN350-2.

Para além da degradação da madeira, a variação dimensional da madeira pode ter consequências nefastas para a construção. A retracção dos elementos pode contribuir para a alteração das ligações expulsando pregos ou parafusos para o exterior, promovendo também a descolagem das juntas e das selagens entre diferentes elementos destruindo as barreiras de estanquidade projectadas. Nos edifícios de mais de um piso, a retracção dos elementos que são colocados com a direcção das fibras paralelas ao solo, conduzem a um assentamento que pode ser significativo e que pode ter consequências nefastas para a construção. Outro risco para a durabilidade das construções de madeira é suscitado pela retracção diferencial entre elementos de diferente natureza. Para evitar a destruição da integridade da envolvente, os projectos devem considerar com especial cuidado as ligações entre diferentes elementos, a escolha dos acessórios ligadores e os produtos de vedação e protecção (CMHC, 2001).

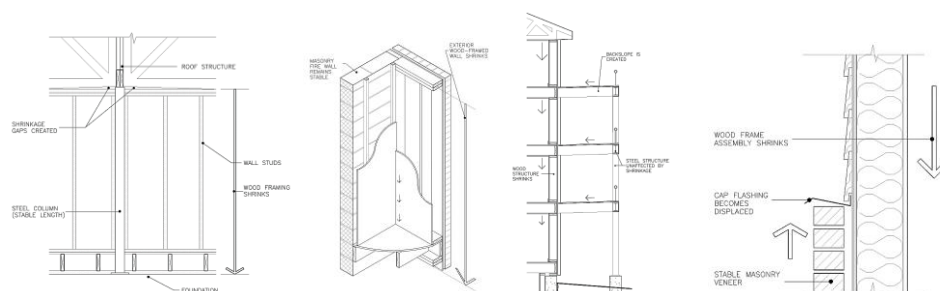


Fig. 206 - Exemplos de problemas causados pela retracção diferencial dos elementos de construção 1, 2, 3, 4 (CMHC, 2001).

O Manual prático de envolventes construídas para a província Canadana de British Columbia ilustra vários exemplos de soluções construtivas (cf. imagens da figura 206) que se podem mostrar problemáticas e que podem conduzir a problemas de durabilidade: 1) A conjugação de porticados pilar-viga e painéis reticulados pode conduzir a um assentamento do painel que não é acompanhado pelo pilar produzindo-se uma abertura nas juntas entre componentes; 2) A intersecção de uma parede de alvenaria ou de betão com uma parede de reticulados com travessas horizontais, sobretudo em edifícios de vários pisos, conduz a um assentamento da parede de madeira que não é acompanhada pela parede de alvenaria; 3) Em edifícios de paredes com estruturas de madeira onde é realizada a instalação de varandas com pilares

metálicos pelo exterior, o assentamento das primeiras, conduz a uma inclinação do pavimento para o interior; 4) Os revestimentos de outros materiais com capeamentos metálicos sobre eles, fixados a paredes de madeira que são sujeitas a assentamentos podem conduzir a uma abertura da protecção metálica. Recomenda-se que sejam previstas alternativas como por exemplo instalação de painéis pelo exterior das estruturas porticadas em vez de serem integrados nos vãos, ou a escolha de soluções com um grau previsível de assentamento semelhante ou ainda a definição de juntas móveis sempre que tal não colidir com outras exigências (CMHC, 2001).

IV.G.1 MEDIDAS CONSTRUTIVAS

Segundo a Canadian Mortgage and Housing Corporation (CMHC, 2001) as medidas construtivas para promover a durabilidade das construções em madeira podem ser classificadas segundo quatro linhas de defesa: protecção, drenagem, secagem e durabilidade. A protecção consiste em utilizar componentes que limitam a exposição dos elementos construtivos à chuva através de beirados e palas ou com capeamentos e revestimentos que eliminam a água das superfícies a proteger. A drenagem comporta a introdução de acessórios que eliminam a água que entrou para o interior da primeira barreira protectora (o revestimento). A secagem compreende a definição de detalhes construtivos que promovam a secagem dos materiais através de espaços e juntas que permitam a ventilação. Finalmente, a durabilidade consiste em utilizar componentes, materiais e acabamentos que sejam tolerantes à humidade.

Para Shein (1968) as medidas construtivas podem ser subdivididas em medidas de protecção arquitectónica (ou independente) que não alteram os elementos e os componentes protegidos e em medidas de protecção directa que implicam uma alteração da superfície da madeira.

As medidas arquitectónicas dependem principalmente da concepção geral do projecto, consistindo por exemplo em proteger as fachadas pela projecção da cobertura¹⁰⁴ e em orientar a construção de forma a preservar os elementos a proteger dos quadrantes mais adversos em termos de vento, sol e chuva. As projecções da cobertura protegem os componentes dos raios ultravioleta e das elevadas temperaturas que podem afectar o conteúdo de humidade. Nas medidas arquitectónicas incluem-se ainda a protecção periférica da construção através de declives, drenagens, afastamentos e materiais que protejam os elementos de madeira. Um segundo nível de medidas arquitectónicas de protecção consistem em proteger os componentes através de capeamentos, rufos e peças sacrificiais. As zonas que requerem mais atenção nos elementos estruturais exteriores são as juntas dos componentes como por exemplo as ligações pilar-viga, pilar-base, viga-revestimentos, etc., onde a água se tende a acumular, permanecendo em sucessivos ciclos de precipitação. Devem ser ainda consideradas as medidas que são da responsabilidade do empreiteiro (mas que podem ser incluídas nas prescrições do arquitecto) e que consistem nos cuidados a ter na protecção dos componentes antes de serem montados. Finalmente devem ser contempladas medidas de planeamento que incluem os programas de manutenção e limpeza que devem constituir uma preocupação conjunta dos arquitectos, dos construtores e dos fabricantes dos elementos e componentes, no sentido de ser dada uma garantia de durabilidade e qualidade em função de um plano de intervenção (Schein, 1968).

¹⁰⁴ As projecções das coberturas no entanto são mais importantes em zonas de climas tropicais ou climas com elevada precipitação e humidade conjugada com temperaturas elevadas, formando condições propícias ao ataque biológico. Nos climas secos e nas regiões de montanha, em geral as projecções não são tão críticas (Schein, 1968).

Os elementos de madeira exteriores devem ser protegidos dos ventos dominante e dos quadrantes com maior exposição solar, em especial o poente. A exposição dos componentes de madeira aos ventos dominantes que transportam a água da chuva para além de contribuir para uma maior entrada de água através das juntas, elimina o efeito de protecção das projecções da cobertura. Por outro lado, as orientações sul (com mais horas de exposição) e poente (com o ângulo de incidência solar mais próximo da perpendicular às superfícies expostas) são mais adversas promovendo o aumento da temperatura superficial das superfícies dos componentes, propiciando a sua fendilhação devido a retracções diferenciais. Assim, os elementos expostos deveriam estar protegidos dos ventos dominantes e dos quadrantes com maior incidência solar, especialmente o poente (Schein, 1968). O levantamento de dados sobre o clima, o microclima local, a exposição solar, os ventos dominantes, a existências de árvores, a natureza do terreno, bem como a observação dos efeitos do clima nos edifícios existentes, permitem adoptar com consciência as medidas necessárias de protecção da construção. A aplicação de novos elementos de madeira numa obra exige ainda que se caracterizem as condições do ambiente de serviço, definindo um teor de água de equilíbrio com o auxílio de curvas de variação do teor de água em função da temperatura e humidade relativa do ar (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 11).

A protecção dos pilares na sua base deve ser efectuada sempre com meios de transição que evitem a acumulação de humidade nas juntas. Nos ligadores metálicos é importante adoptar-se materiais não susceptíveis à oxidação. Os ligadores devem permitir a ventilação das superfícies da madeira, em especial dos topos e devem incluir meios de expulsar a água eventualmente acumulada nas juntas. Nas bases de betão deve-se ter em conta a transmissão de humidade entre estas e a madeira, devendo prever-se uma barreira constituída por uma membrana impermeável (Schein, 1968).

As protecções periféricas são constituídas por elementos independentes da estrutura, como as árvores ou estruturas sombreadores ou ainda tratamentos paisagísticos e do solo. As árvores para além do efeito sombreador, regulador da temperatura e da incidência solar podem atenuar o efeito do vento reduzindo as rápidas flutuações de humidade nos componentes de madeira. Deve haver o cuidado no entanto na escolha das espécies e na sua disposição para que a humidade acumulada não seja excessiva e para que a deposição de folhagem e ramos na cobertura e nas caleiras não aconteça. Também os cuidados com o tratamento paisagístico são importantes porque a presença de vegetação próxima da envolvente construída contribui para a acumulação de humidade, podendo prever-se soluções de materiais de drenagem rápida como a gravilha (um “perímetro seco”), ou outros tipos de materiais que evitem o salpico ou a acumulação de água e ainda a transmissão de calor por acumulação e radiação. Outro tipo de protecção é o das estruturas sombreadores controláveis que permitem obter a protecção desejada, não devendo no entanto estas ser sobrevalorizadas, porque muitas vezes acabam por não ser correctamente utilizadas pelos utentes. (Schein, 1968).

Os elementos de madeira que por razões formais ou estruturais tenham que ficar expostos devem ser protegidos através de outros materiais que cubram as zonas mais sensíveis (os topos e as faces superiores). Estes capeamentos devem no entanto permitir a retracção e o inchamento da madeira e a circulação do ar nas superfícies cobertas promovendo a secagem de eventuais infiltrações e ao mesmo tempo a redução da temperatura. Os capeamentos e rufos metálicos são eficazes, mas a sua montagem deficiente pode ser mais prejudicial do que a sua não instalação. Também o uso de peças de madeira ou de derivados para proteger os componentes estruturais é uma possibilidade, devendo ter-se atenção aos meios de

fixação porque os ligadores e o comportamento diferencial podem conduzir à abertura de fendas prejudiciais. A peça de madeira protectora instalada deve ser o mais possível independente da peça protegida. Também os pilares podem ser protegidos tanto nos topos por uma peça de madeira intermédia com por uma projecção do tipo capitel ou mediante a montagem de peças de menor espessura sobre as faces e juntas laterais (Schein, 1968). Deve-se sempre minimizar a exposição de juntas entre componentes, tendo-se especial atenção às situações dos topos com as fibras cortadas transversalmente.

A utilização de parafusos deve ser cuidada tanto do ponto de vista da sua escolha como da sua montagem. Os parafusos expostos devem ser galvanizados ou protegidos contra a corrosão e não devem ser demasiado apertados, utilizando-se anilhas de transição integrando furações que acomodem os normais movimentos da madeira. A utilização de linhas de parafusos ao longo dos veios da madeira deve ser evitada, devendo dispor-se os parafusos nos ligadores de modo a não oferecerem resistência à madeira (Schein, 1968).

Durante a construção, para além da protecção dos componentes, deve-se sempre que possível verificar se a sua humidade se aproxima das condições de humidade habituais no ambiente em que são instalados. As medidas de manutenção devem fazer parte de um plano elaborado pelo arquitecto ou pelo construtor promovendo uma calendarização de visitas de inspecção dos elementos estruturais, dos revestimentos, dos capeamentos e de reparação de pinturas e substituição de peças sacrificiais. Schein (1968) sugere que o arquitecto incorpore na estimativa de custos a entregar ao cliente uma parcela relacionada com a manutenção periódica.

Outros meios adicionais de protecção, incluídos no segundo grupo de medidas (directas) consistem na aplicação de alterações mecânicas dos componentes de madeira através de sulcos ou cortes. Os métodos de alteração mecânica dos componentes consistem na redução das secções ou na abertura de sulcos. No primeiro caso, a redução dos elementos construtivos é efectuada nas extremidades mais expostas diminuindo-se assim as diferenças de tensões entre o interior e o exterior. No segundo caso a abertura de sulcos nos topos ou ao longo das superfícies dos componentes permitirá o movimento das camadas superficiais da madeira e a libertação de humidade das camadas mais profundas. Em ambos os casos pretende-se evitar a produção de fendas superficiais. Finalmente pode ser ainda incluído neste grupo a selagem de juntas entre componentes através de materiais elásticos, em pontos críticos da construção (Schein, 1968).

Quando não é possível proteger através de medidas arquitectónicas um elemento construtivo que fica exposto aos elementos adversos do clima, devem escolher-se espécies resistentes, ou em alternativa devem promover-se medidas adequadas através de tratamentos biocida. Estes tratamentos conferem uma resistência efectiva ao ataque de fungos e de insectos, envenenando a sua fonte de alimentação (Schein, 1968). Em geral, os componentes de madeira de espécies não duráveis e moderadamente duráveis no exterior em contacto com o solo devem ser sempre sujeitas a tratamento químico. Para aplicações exteriores acima do solo a decisão de utilizar espécies resistentes ou madeira tratada é mais complicada e pode depender do clima, do design do componente, do grau da exposição, o tempo de vida útil esperado, e as perspectivas de manutenção e substituição definidas antecipadamente (CMHC, 2001).

Em alternativa, ou em complemento podem utilizar-se pinturas que protegem os componentes de infiltrações de água. As pinturas devem ser aplicadas com a consciência que a sua degradação pode ser também nefasta, porque a fissura e a descolagem do filme de tinta da

superfície oferece condições para a acumulação e permanência da água, entre esta e a madeira (Schein, 1968). O uso de alguns materiais compostos de madeira pode ser também uma forma de ultrapassar alguns dos problemas relacionados com a humidade. O contraplacado por exemplo (no caso do contraplacado de resinosas canadianas) tende a ter menos 2% de humidade que a madeira maciça sob as mesmas condições, devido aos adesivos que inibem a sua absorção. Já o OSB é mais sensível à humidade uma vez que as arestas brutas das virutas tendem a absorver a humidade e a produzir o seu descolamento (CMHC, 2001).

IV.G.2 CLASSES DE DURABILIDADE

Durabilidade natural é a capacidade da madeira resistir ao ataque de agentes biológicos sem recurso a tratamentos de preservação. Esta é diferente de espécie para espécie e dentro de cada espécie é diferente na madeira do cerne e na madeira do borne. A norma "EN 350-1:1990. Durability of wood and wood based products - Natural durability of solid wood - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood" estabelece um conjunto de testes e critérios para avaliar os resultados e ainda um conjunto de classes de durabilidade relativamente ao ataque de fungos, térmitas e xilófagos marinhos. Contudo, há uma vasta experiência acumulada relativamente a numerosas espécies pelo que a Parte 2 da norma estabelece classes de durabilidade para um vasto conjunto de espécies de madeira utilizadas na Europa (Cachim, 2007, p. 152).

As classes de durabilidade estabelecidas segundo os agentes de degradação são as seguintes (cf. Tabela 10): Fungos (1-Muito durável; 2-Durável; 3-Moderadamente durável; 4-Pouco durável; 5- não durável); Carunchos (D-durável; S-Susceptível); Térmitas (D-durável; M-Moderadamente durável; S-Susceptível); Xilófagos marinhos (D-durável; M-Moderadamente susceptível; S-Susceptível). Quando a durabilidade natural não é suficiente, as madeiras poderão ser sujeitas a tratamentos, sendo importante verificar a tratabilidade da madeira ou a sua impregnabilidade que consiste na sua capacidade para absorver um determinado produto preservador (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009). A norma EN 350 2:1994 estabelece para as espécies de madeira listadas a sua tratabilidade de acordo com um sistema que define 4 classes: 1-fácil; 2-moderadamente fácil; 3-difícil; 4-extremamente difícil) (Cachim, 2007). A madeira do borne é mais fácil de tratar que a do cerne pelo que é relativamente fácil conseguir com madeira do borne tratada durabilidades superiores às da madeira do cerne para a mesma espécie.

Tabela 10 - Durabilidade de algumas madeiras correntes segundo a norma EN 350-2 (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 40).

Nome científico	Nome comum	Origem	Massa volúmica Kg/m ³	Durabilidade natural				Impregnabilidade		Largura borne
				Fungos***	Hylotrupes*	Anobium*	Térmitas**	Cerne	Borne	
<i>Pinus pinaster</i>	Pinho bravo	S e SW Europa	530-550	3-4	S (só borne)	S (só borne)	S (cerne)	3-4	1	b
<i>Pinus sylvestris</i>	Casquinha	Europa	500-540	3-4	S (só borne)	S (só borne)	S (cerne)	3-4	1	s-m
<i>Picea Abies</i>	Espruce Europeu	Europa	400-470	4	SH (borne e cerne)	SH (borne e cerne)	S (cerne)	3-4	3v	x
<i>Castanea Sativa</i>	Castanho	Europa	540-650	2	-	S (só borne)	M	4	2	s
<i>Quercus robur</i>	Carvalho comum	Europa	670-760	2	-	S (só borne)	M	4	1	s
<i>Quercus rubra</i>	Carvalho americano	América do Norte	650-790	4	-	N/D	S (cerne)	2-3	1	s

Legenda: b - grande; s - pequeno; s-m - pequeno/médio; *Para os carunchos, o cerne normalmente é não-susceptível; **Para as térmitas, o borne é sempre susceptível; ***Para os fungos, o borne é sempre não durável (Classe 5), excepto indicação em contrário.

IV.G.3 CLASSES DE RISCO

Conforme se referiu, o sistema de classificação em relação à durabilidade assenta no estabelecimento de classes de risco, actualmente definidas pela norma "NP EN 355-1:1994. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Definição das classes de risco de ataque biológico. Parte 1: Generalidades" Estabelece 5 classes de risco (cf. Tabela 11):

Classe 1 - A madeira ou os produtos derivados estão sob uma cobertura, totalmente abrigados das intempéries e não expostos a humedificação. A madeira tem um teor de humidade inferior a 20% (vigas ou pilares no interior de edifícios). O risco de ataque por fungos xilófagos é insignificantes e sempre accidental. O risco de ataque por insectos existe também (excepto térmitas de madeira húmida) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 56).

Classe 2 - Os elementos estão sob cobertura, mas com humidade elevada. Ocasionalmente pode ocorrer um teor superior a 20% de humidade em parte ou na totalidade do elemento estrutural (exemplo de estruturas de piscinas cobertas e elementos estruturais próximos de condutas de água). É possível o ataque por parte de fungos cromogéneos e xilófagos. O risco de ataque por insectos é o mesmo que na classe 1 (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 56).

Classe 3 - Madeira ou derivados que não estão sob coberto nem em contacto com o solo, mas expostos às intempéries ou em condições de humedificação frequente. O elemento estrutural encontra-se no exterior, mas afastado do solo. O teor de humidade pode superar 20%. É possível o ataque de fungos cromogéneos e xilófagos. Esta classe subdivide-se em duas:

Classe 3.1 - Elemento estrutural sem contacto com o solo e protegido, sujeito a medidas construtivas destinadas a impedir uma exposição excessiva aos efeitos directos da intempérie e fontes de humidade. O risco de que o teor de humidade permaneça acima dos 20% é reduzido (exemplo de vigas projectadas para o exterior mas protegidas nas zonas superiores e topos por capeamento ou peças sacrificiais) (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 57).

Classe 3.2 - Elemento estrutural que se diferencia do anterior por não estar protegido, podendo as peças superar o teor de humidade de 20% frequentemente e durante mais tempo (elementos expostos à acção directa da chuva sem protecção). O risco de ataque de térmitas é elevado. Neste caso devem adoptar-se medidas de protecção por desenho ou em alternativa, um tratamento efectivo (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 27).

Classe 4 - Contacto com solo ou água doce. Elemento estrutural em contacto com o solo e/ou com água doce, superando permanentemente um teor de 20% de água. O risco de ataque de fungos xilófagos e térmitas é elevado (construções em água doce de pilares em contacto com o solo. O risco de ataque de térmitas é elevado, devendo adoptar-se medidas de protecção por desenho, devendo em alternativa a madeira ter um tratamento efectivo (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 57).

Classe 5 - Madeira ou derivados em contacto permanente com água salgada. Nestas circunstâncias o risco principal é o ataque por invertebrados marinhos, sendo o ataque por fungos xilófagos de podridão e cromogéneos possível (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013, p. 57).

Nas classes 1 e 2 não existem problemas de durabilidade podendo-se utilizar nestas situações qualquer espécie de madeira. Qualquer que seja o tipo de aplicação prevista e a classe de risco, deve ser prescrito o tratamento adequado que considere sempre o risco de ataque por insectos. Das coníferas, habituais em estruturas, aquela que oferece maior impregnabilidade é o *Pinus sylvestris* L.. Já a *Picea ssp.* nunca deveria ser empregue em classes de risco 3.2 ou superiores (Seco, García, Diéguez, Garrido, & García, 2013). As classes são particularizadas noutras normas para a madeira maciça e noutra ainda para os aglomerados (Cachim, 2007).

Tabela 11 - Resumo das classes de risco, condições de humidade e agentes biológicos que poderão afectar a madeira maciça segundo a NP EN 335-2, 2011 (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 33).

Classe de risco	Situações de serviço	Exemplos de aplicação	Exposição à humidade (Teor de água da madeira)	Agentes biológicos relevantes
1	Interior seco	Pavimentos, lambris	Seca 20% no máximo	Carunchos
2	Interior com risco de humedificação	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	Ocasionalmente > 20%	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Bolores Podridão castanha
3.1	Exterior sem contacto com o solo e protegido	Caixilharia e portas exteriores	Ocasionalmente > 20%	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos
3.2	Exterior sem contacto com o solo e não protegido	Decks sem contacto com o solo, pérgulas, painéis de vedação, soletos de madeira	Frequentemente > 20%	Podridão castanha Podridão branca
4.1	Exterior, junto de/ em contacto com o solo e/ou água doce	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas	Predominantemente ou permanentemente > 20%	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos
4.2	Exterior, enterrado no solo e/ou água doce	Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	Permanentemente > 20%	Podridão castanha Podridão branca Podridão mole
5	Na água salgada	Pontões, fundações em água salgada	Permanentemente > 20%	Xilófagos marinhos

Tabela 12 - Resumo das classes de risco EN 335, 2013 (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 34).

Classe de risco	Situações gerais de serviço	Exemplo de aplicação	Agentes biológicos relevantes
1	Interior seco	Pavimentos, lambris	Carunchos
2	Interior ou sob coberto, sem exposição aos agentes atmosféricos. Possibilidade de condensação de água	Estruturas de cobertura, estruturas de paredes	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Bolores Podridão castanha
3	Exterior sem contacto com o solo, exposto aos agentes atmosféricos	Caixilharias e portas exteriores	Carunchos Térmitas
3.1	Humidificação possível, mas pouco comum	Decks sem contacto com o solo, pérgulas, painéis de vedação, soletos de madeira	Fungos cromogéneos Bolores Podridão castanha
3.2	Em condições de humedificação prolongada	Decks em contacto com o solo ou junto de piscinas	Podridão branca
4	Exterior em contacto com o solo e/ou água doce	Fundações em água doce, postes de vedação, postes de transmissão aérea	Carunchos Térmitas Fungos cromogéneos Podridão castanha Podridão branca Podridão mole
5	Permanentemente ou regularmente submerso em água salgada	Pontões, fundações em água salgada	Xilófagos marinhos

A versão de 2013 da EN 335 (cf. Tabela 12), exclui a referência ao teor de água porque na prática as variações dos teores água mínimos para o ataque biológico pode variar significativamente, sendo o valor de 20%, meramente indicativo (Nunes, 2013, p. 33). A referida versão estabelece ainda a relação entre classes de risco e classes de serviço (cf. Tabela 13):

Tabela 13 - Relação entre classes de risco e classes de serviço (EN 1995-1-1:2004) e as classes de risco (EN 335:2003) (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 35)

Classes de serviço de acordo com a EN 1995-1-1	Classes de risco possíveis de acordo com a EN 335
Classe de serviço 1	Classe de risco 1
Classe de serviço 2	Classe de risco 1 Classe de risco 2 se o componente está aplicado numa situação em que pode estar sujeito a humedecimento ocasional causado por exemplo por condensação
Classe de serviço 3	Classe de risco 1 Classe de risco 3 ou superior se o componente for usado no exterior

IV.G.4 EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE

Conhecida a classe de risco a que a madeira se encontra submetida e a sua durabilidade natural é necessário efectuar a junção destes dois critérios uma vez que a duração em serviço de um elemento de madeira depende não só da sua durabilidade natural mas também de outros factores como as condições climáticas locais, os pormenores construtivos, e outros factores como a ventilação (Cachim, 2007).

A norma "NP EN 460:1999. Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Guia de exigências de durabilidade das madeiras na sua utilização seguindo as classes de risco", estabelece a ligação entre as classes de risco definidas para as diferentes utilizações e a capacidade de resposta das madeiras segundo as suas características de durabilidade, ou seja relaciona “classes de risco” e “classes de durabilidade” (Cachim, 2007).

Tabela 14 - Relação entre classes de risco definidas para as diferentes condições de utilização e capacidade de resposta das madeiras, segundo as suas características de durabilidade (NP EN 460:1995) (Cachim, 2007, p. 155).

Classe de Risco	Classe de durabilidade das espécies de madeira				
	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	(0)	(0)
3	0	0	(0)	(0) - (X)	(0) - (X)
4	0	(0)	(X)	X	X
5	0	(X)	(X)	X	X

Legenda: 0 - Durabilidade natural suficiente (podendo ser necessário tratamento em certos casos); (0)-(X) - A durabilidade natural pode ser suficiente (pode ser necessário tratamento em função da espécie de madeira, da permeabilidade e da utilização); (X) - Tratamento preservador normalmente recomendado; X - Tratamento preservador necessário.

Segundo Cachim (2007) deve-se ter em consideração que a escolha de uma espécie de madeira para utilização numa determinada classe de risco deverá ter igualmente em conta factores como a utilização do elemento ou a posição do elemento na construção (por exemplo uma superfície horizontal mal drenada). Nestes casos poderá ser necessário elevar a classe de risco pré-definida, ou diminuir o risco de rotura através de uma prévia protecção de partes da construção, por exemplo a cobertura das superfícies superiores com materiais mais duráveis ou a protecção dos topos das peças de madeira.

IV.G.5 PRESERVAÇÃO

Quando a durabilidade natural não é suficiente face à classe de risco prevista, torna-se necessário a utilização de produtos preservadores da madeira. O grau de protecção alcançado depende do preservador utilizado e de quanto ele penetra na madeira e nela

permanece retido. Alguns produtos preservadores são mais eficazes que outros e por vezes podem não se adequar a determinadas utilizações. A sua eficácia depende também do processo de aplicação utilizado (Cachim, 2007). Estes produtos devem obedecer aos seguintes critérios: exercer acção tóxica sobre os agentes biológicos destruidores da madeira; ser de fácil introdução na madeira; manter a sua acção protectora; não diminuir a aptidão da madeira ao fim a que se destina (Cachim, 2007).

Nos países da América do Norte, os regulamentos apontam especificamente as situações em que se devem sujeitar os componentes de madeira a tratamento químico (American Wood-Preservers' Association). Para o caso específico das estruturas de reticulados leves de madeira, as seguintes situações estão sujeitas a tratamento dos componentes (cf. figura 204): 1) madeira embebida ou em contacto directo com a terra para suporte de estruturas permanentes; 2) vigas de pavimento simples afastadas menos de 18" do solo ou vigas principais (*girders*) afastadas menos de 12" do solo; 3) travessas em geral assentes em lajes, alvenaria ou fundações, em contacto com o betão; 4) pilares ou pilaretes pousados directamente na alvenaria, expostos aos elementos do clima ou em caves; 5) topos de vigas principais encastrados em elementos ou paredes de betão ou de alvenaria sem pelo menos 1/2" de espaço livre; 6) madeira em estruturas permanentes localizadas a menos de 6" do solo; 7) elementos de madeira estrutural suportando pavimentos e coberturas permeáveis à humidade; 8) paredes de contenção em madeira; 9) fundações de madeira; 10) elementos de escadas e guardas, em especial em zonas quentes e húmidas, quando expostos aos elementos do clima sem protecção de uma cobertura que evite a acumulação de humidade (Wing, 2009).

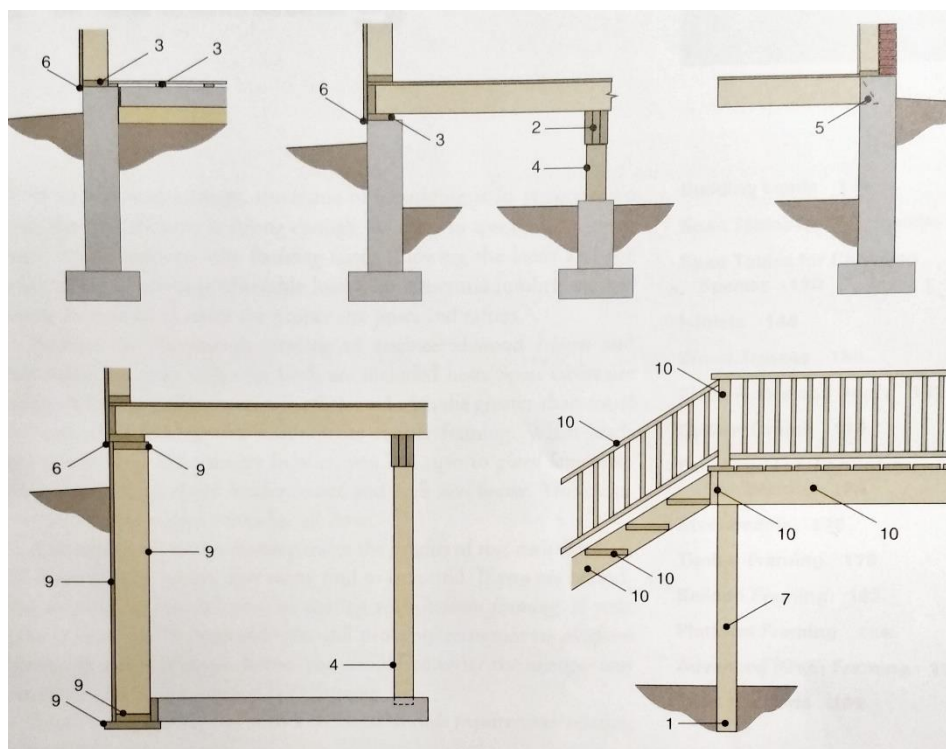


Fig. 207 - Componentes e elementos onde o IBC exige madeira tratada (Wing, 2009). 1 - Pilares em contacto com o solo; 2 - Vigas próximas do solo; 3 - Travessas assentes em elementos de betão; 4 - Pilares assentes em elementos de betão ou alvenaria; 5 - Vigas e vigotas encastradas em paredes; 6 - Juntas de estruturas de madeira próximas do solo; 7 - Estruturas de madeira que suportam decks ou escadas permeáveis à água; 8 - Paredes de contenção com elementos de madeira; 9 - Fundações com elementos de madeira; 10 - Elementos de guardas e escadas expostos.

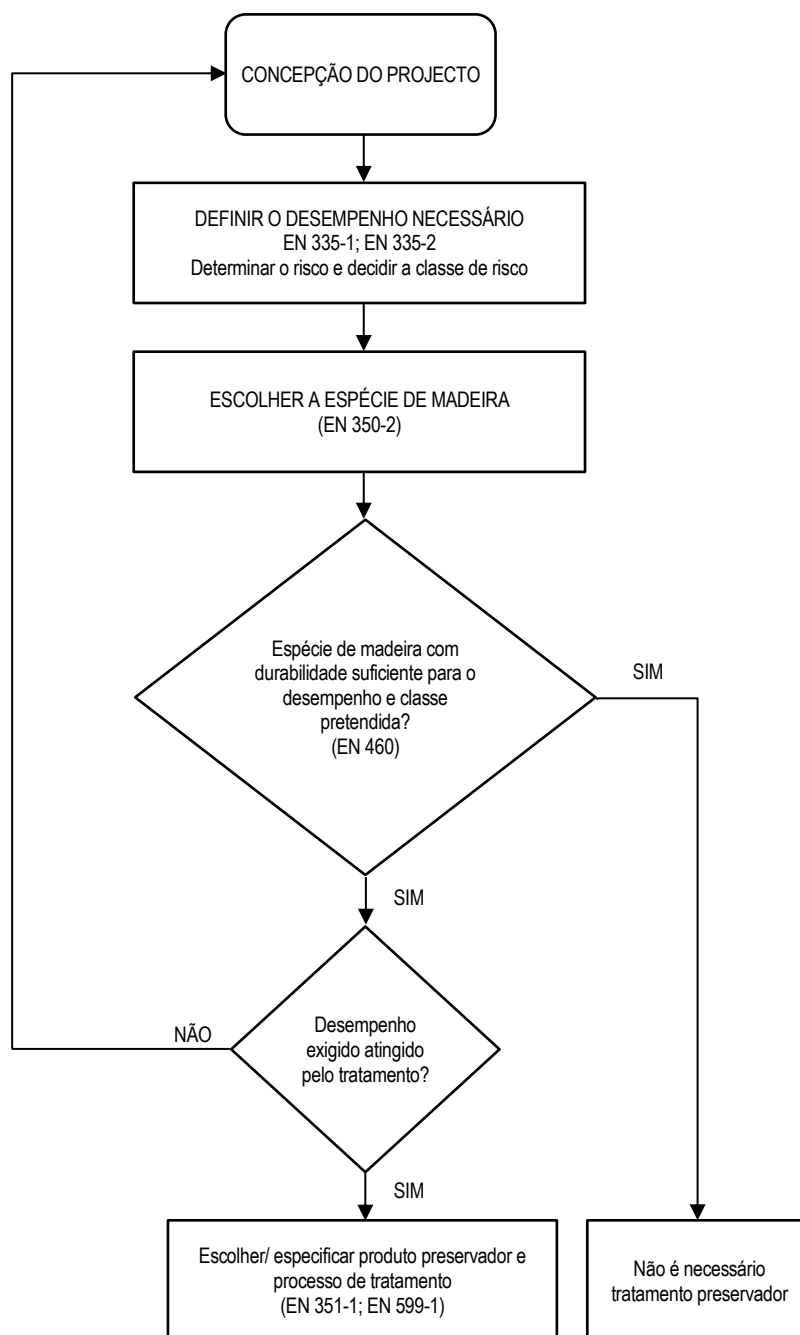


Fig. 208 - Projecto de durabilidade (Cachim, 2007, p. 108).

A execução dum projecto de durabilidade de uma construção em madeira pressupõe a articulação de todos os factores anteriormente descritos, designadamente a escolha da classe de risco, a adequação da espécie de madeira ao fim em vista e a eventual necessidade do seu tratamento (cf. figura 208). As perspectivas futuras quanto à preservação da madeira com produtos químicos passam pelas fortes e crescentes preocupações ambientais que muitas vezes implicam alterações nos produtos, nos métodos e nas práticas tradicionais. Muitos países proibiram o uso de algumas substâncias activas (como a dialdrina) e restringiram as condições de aplicação de outras (como o creosote, o pentaclorofenol, os preservadores aquosos ou cobre-crómio-arsénico). Actualmente os requisitos exigidos aos produtos preservadores são: a não toxicidade (pelo menos após aplicação) excepto para os

organismos alvo; a aplicação do tratamento a peças na forma final para reduzir desperdícios; a não produção ou emissão de produtos tóxicos; a não contaminação do ar, do solo ou da água; e o tratamento, reciclagem ou destruição dos resíduos ou restos de madeira tratada em condições de mínima agressividade para o ambiente (Cachim, 2007).

IV.H Estética (Material, Património, Paisagem)

A componente estética da madeira manifesta-se a dois níveis: o da construção como um todo e o do material em si mesmo. No primeiro nível, as exigências que se podem revelar importantes dependem principalmente de critérios de integração arquitectónica ou paisagística que incluem sempre uma componente subjectiva. Contudo, as entidades licenciadores podem em algumas circunstâncias definir restrições baseadas nesses mesmo critérios.

As “condições especiais relativas à estética das edificações” no art.º 121º do Título IV do RGEU, introduz exigências difíceis de objectivar, no entanto expressa-se a intenção de que as intervenções sejam integradas nos respectivos contextos físicos:

“Não poderão erigir-se quaisquer construções susceptíveis de comprometerem, pela localização, aparência ou proporções, o aspecto das povoações ou dos conjuntos arquitectónicos, edifícios e locais de reconhecido interesse histórico ou artístico ou de prejudicar.” (Portugal, Regulamento geral das edificações urbanas, 2008)

IV.H.1 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL (USOS NÃO ESTRUTURAIS)

No segundo nível, a componente estética da madeira pode por um lado ser baseada em critérios também eles meramente objectivos ou por outro lado ter base sistemas de classificação objectivos (cf. Tabela 15, Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18). A norma que normaliza a classificação visual das madeiras resinosas é na versão portuguesa a NP EN 1611-1:210. Esta aplica-se a várias espécies de resinosas europeias: o Espruce europeu, os Abetos, os Pinhos e a Pseudotsuga. As peças de madeira são classificadas em função da presença de defeitos nas faces e nos cantos da madeira serrada. Há dois procedimentos de classificação, o G2 e o G4 (cf. Tabela 15). O procedimento G2 avalia os nós nas duas faces e inclui outras características. O procedimento G4 avalia os nós nas duas faces e nos dois cantos (abas) e inclui também outras características. A classificação das peças no caso de todas as faces terem a mesma classe é a dessa classe. No caso de haver faces de grau diferente, a classe da peça é de uma classe acima da face de pior qualidade. Mas no procedimento G4, se um dos cantos tiver uma classe abaixo dos restantes lados da peça, esta será a classe da peça (Sanz & Et al., 2007).

O procedimento de classificação consiste em avaliar as peças individualmente e constituir lotes em função das diferentes categorias obtidas. As categorias são definidas desde Qualidade 0 até Qualidade 4. O processo de avaliação exige a análise do tamanho dos nós e a contabilização do seu número no pior metro de qualidade de cada face e canto (aba). Os nós com menos de 10mm não são considerados, excepto se estiverem poderes ou soldadinhos. Os nós redondos ou ovais são medidos segundo a norma EN 1310.

Outras singularidades medidas são a casca inclusa nas faces, as bolsas de resina nas faces, a madeira resinada em qualquer lado, a madeira de compressão em qualquer lado e a inclinação do fio em qualquer um dos lados. Quanto às alterações biológicas, avalia-se a podridão em qualquer face, os fungos cromogéneos e pasmo em qualquer face e os ataques de insectos também em qualquer face. Contabiliza-se ainda a existência de descaio, a presença de medula, as fendas sobre a face da classificação e a deformação em 2,00m.

Tabela 15 - Classificação nas duas faces para critérios G2 e G4 (Sanz & Et al., 2007).

Nota	Defeito	Valores máximos para os critérios G2 e G4					
		Qualidade 0	Qualidade 1	Qualidade 2	Qualidade 3	Qualidade 4	
(A)	Tamanho do nó	Sãos e aderentes	10% da largura +10 mm	10% da largura +20 mm	10% da largura +35 mm	10% da largura +50 mm	Sem restrição
(B)	Mortos ou parcialmente aderentes	10% da largura +0 mm	10% da largura +10 mm	10% da largura +20 mm	10% da largura +50 mm		
	na face da classificação	Com casca inclusa	Excluído	10% da largura +0 mm	10% da largura +15 mm	10% da largura +40 mm	
		Podres ou soltadiços	Excluído	Excluído	10% da largura +15 mm	10% da largura +40 mm	
(A)	Número de nós no pior metro da qualidade	Número de nós total	2	4	6	Sem restrição	
(C)		Podres, soltadiços ou casca inclusa	0	1 (só aplicável a nós com casca inclusa)	2	5	
		Espinha ou da aresta em espinha	0	4	6	Sem restrição	

Tabela 16 - Classificação nos quatro lados para critério G4 (Sanz & Et al., 2007).

Nota	Defeito	Valores máximos para os critérios G4					
		Qualidade 0	Qualidade 1	Qualidade 2	Qualidade 3	Qualidade 4	
(A) (D)	Tamanho do nó (redondo e oval) no canto de classificação	Sãos e aderentes	Ø máximo em % da espessura da peça				
			50 %	90 %	100 %	100 %	
			Ø máximo ≤ que o Ø autorizado nas faces				
		Mortos ou parcialmente aderentes	Ø máximo em % da espessura da peça				
			33 %	67 %	75 %		
			Ø máximo ≤ que o Ø autorizado nas faces				
		Com casca inclusa	Ø máximo em % da espessura da peça				
			0 %	33 %	50 %	90 %	
			Ø máximo ≤ que o Ø autorizado nas faces				
		Podres ou soltadiços	Ø máximo em % da espessura da peça				
	0 %	0 %	50 %	90 %			
		Ø máximo ≤ que o Ø autorizado nas faces					
(C)	Número de nós no pior metro de qualidade de cada canto	Número de nós total	1	2	4	Sem restrição	
		Podres, soltadiços ou casca inclusa	0	1	2	3	

Notas: (A) Nós de tamanho igual ou inferior a 10 mm não se consideram, exceptuando aqueles podres ou soltadiços; (B) Para o Espruce europeu, Abetos e Pseudotsugas, cuja largura for 225 mm ou superior, o tamanho máximo dos nós deve ser aumentado 10 mm. Deste modo, em pinho, para largura de peça igual ou superior a 180 mm, se permite incrementar o tamanho do nó em 10 mm; (C) Para uma largura de peça maior que 225 mm, o número total de nós deve ser incrementado em 50 %; (D) Os nós repassados de canto são admitidos em peças de qualidades G4-2, G4-3 e G4-4.

Tabela 17 - Outras singularidades (Sanz & Et al., 2007).

Nota		Defeito	Valores máximos para critérios G2 e G4				
			Qualidade 0	Qualidade 1	Qualidade 2	Qualidade 3	Qualidade 4
Outras singularidades da estrutura							
(E)	Casca inclusa sobre a face de classificação	Metro linear mais penalizado	0	2	2	4	Sem restrição
		Comprimento total	0	100 mm	200 mm	300 mm	
	Bolsa de resina sobre a face de classificação	Metro linear mais penalizado	2	4	4	4	Sem restrição
		Comprimento total	75 mm	100 mm	200 mm	300 mm	
	Madeira resinada (qualquer face)	Superfície	0	0	30 %	50 %	Sem restrição
	Madeira de compressão (qualquer face)	Superfície	0	10 %	30 %	50 %	Sem restrição
Inclinação do fio		Qualquer face	Excluído	Excluído	Permitido	Permitido	Permitido
Alterações biológicas							
(F)	Podridão	Qualquer face	Excluído	Excluído	Excluído	Excluído	Pequenos traços
	Fungos cromogéneos e pasmo (em qualquer face)	Profunda em % total de superfície	Excluído	Excluído	10 %	50 %	Sem restrição
		Superfície em % total de superfície	Excluído	Excluído	20 %	100 %	
	Ataques de insectos (em qualquer face)		Excluído	Excluído	Excluído	Picaduras não activas e negras <2 mm no 15% da superfície	Picaduras não activas e negras <2 mm

Notas: (E) A inclinação do fio inclui o fio entrecruzado; (F) Determinado segundo norma EN 1311. Se houver várias zonas afectadas devem considerar-se todas.

Tabela 18 - Outras singularidades (Sanz & Et al., 2007).

Defeito		Valores máximos para critérios G2 e G4				
		Qualidade 0	Qualidade 1	Qualidade 2	Qualidade 3	Qualidade 4
	Singularidades de corte					
Descaio	Largura sobre a face a partir de cada canto	3 mm	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm
	Largura sobre o canto	3 mm	5 mm	10 mm	20 mm	20 mm
	Comprimento (% da largura da aresta)	20 %	20 %	30 %	50 %	100 %
Medula		Excluída	Permitida	Permitida	Permitida	Permitida
	De topo, em cada topo (% da largura)	100 %	100 %	150 %	200 %	500 %
	Face espessura					
Fendas sobre a face	<60 mm (% comprimento)	10 %	25 %	35 %	75 %	100 %
de classificação	Face espessura >60 mm (comprimento)	10 %	33 %	50 %	90 %	100 %
	Repassados (% comprimento)	0	0	0	20 %	40 %
Deformação (em 2 m)	Flecha de face Espessura <45 mm	10 mm	10 mm	15 mm	50 mm	50 mm

IV.I Processo (Produtos, Pré-fabricação, Transporte)

IV.I.1 PRODUTOS DE CONSTRUÇÃO

Em Portugal, segundo o n.º 3 do artigo 17.º do RGEU, os produtos de construção em edificações novas **estão condicionados à marcação CE, ou na sua ausência, à certificação da sua conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal** (Portugal, Regulamento geral das edificações urbanas, 2008). Segundo o n.º 5 do artigo 17.º do REGU, para os produtos que não preencham as condições anteriores, fica a sua utilização condicionada à homologação pelo LNEC, podendo este dispensá-la se possuírem certificados de conformidade emitidos por Estado Membro.

“O Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Directiva n.º 89/106/CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, visa garantir que a colocação no mercado de produtos de construção obedece a regras harmonizadas para a expressão do desempenho dos produtos correspondente” (Portugal, Condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção, 2013e).

“A marcação CE significa a conformidade do produto de construção com o desempenho declarado pelo fabricante, criando as condições para a livre circulação desses produtos em todo o Espaço Económico Europeu e na Turquia” (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011).

“Ao apor ou mandar apor a marcação CE no produto de construção, os fabricantes indicam que assumem a responsabilidade pela conformidade do produto com o seu desempenho declarado, bem como pelo cumprimento de todos os requisitos aplicáveis estabelecidos no presente regulamento e noutros instrumentos relevantes da legislação de harmonização da União que prevêm a sua aposição” (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011).

No n.º 1 do Art.º 4.º refere-se que “Se um produto de construção for abrangido por uma norma harmonizada ou estiver conforme com uma Avaliação Técnica Europeia emitida para esse produto, o fabricante deve elaborar uma declaração de desempenho para esse produto aquando da sua colocação no mercado” (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011).

Assim, perante um produto que se pretende colocar no mercado, deve-se verificar qual a norma harmonizada aplicável¹⁰⁵. Determinada a norma harmonizada, deve verificar-se e avaliar-se a regularidade do desempenho do produto. Com base nos requisitos da norma aplicável, o fabricante assume a responsabilidade de emitir uma declaração de desempenho.

No n.º 3 do Art.º 4.º refere-se que “Ao fazer a declaração de desempenho, o fabricante assume a responsabilidade pela conformidade do produto de construção com o desempenho declarado” (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011).

No caso de não haver norma harmonizada que abranja total ou parcialmente o produto, deve-se solicitar uma Avaliação Técnica Europeia a um Organismo de Avaliação Técnica (OAT). O OAT verificará se o produto de construção não está de facto abrangido por norma

¹⁰⁵ As normas harmonizadas fornecem os métodos e critérios de avaliação do desempenho dos produtos de construção relativamente às suas características essenciais.

harmonizada (no caso de ser abrangido, não pode ser emitida a ATE), depois verifica se o produto está totalmente abrangido por algum Documento de Avaliação Europeu (em caso positivo, esse DAE serve de base à emissão da ATE). No caso de o produto não estar parcial ou totalmente abrangido por uma especificação técnica harmonizada, é necessário definir um Documento de Avaliação Europeu com base no qual o OAT emite a ATE.

No caso de qualquer produto estar abrangido pelo artigo 5.º que fixa as condições em que o fabricante se pode abster de fazer uma declaração de desempenho, deverá em princípio aplicar-se o que consta do art.º 17.º do RGEU, ou seja o produto fica condicionado à certificação da conformidade com normas nacionais.

A conformidade dos produtos com exigências essenciais é definida pelas normas nacionais transpostas de normas europeias (Normas Harmonizadas) e Documentos de Avaliação Europeus, que podem ser substituídos por guias ETA aprovadas pelo EOTA (European Organization of Technical Approval). Todos estes documentos reúnem as especificações técnicas necessárias para a marcação CE.

IV.1.2 CASAS PRÉ-FABRICADAS

Uma casa pré-fabricada é também **condicionados à marcação CE, ou na sua ausência, à certificação da sua conformidade com especificações técnicas em vigor em Portugal**, ou se não forem cumpridas as anteriores condições, devem ser sujeitas a homologação do LNEC.

Uma casa pré-fabricada é um produto de construção que se integra no conceito de Kit, tal como definido no Artigo 2.º do *Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, segundo o qual*:

“Kit”, é “um produto de construção colocado no mercado por um único fabricante como um conjunto de pelo menos dois componentes separados que têm de ser associados para serem incorporados nas obras de construção”. O quadro I do anexo IV do mesmo regulamento, onde são enumeradas as gamas de produtos e requisitos aplicáveis aos OAT, atribui o “código da zona” n.º32 aos “Kits, unidades modulares e elementos pré-fabricados para construção” (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011).

O já referido Regulamento (UE) n.º 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de Março de 2011, abrange todos os produtos de construção destinados a ser incorporados numa obra de modo permanente e que sejam abrangidos pelo menos uma das exigências essenciais: resistência mecânica e estabilidade, segurança contra incêndio, higiene e saúde alimentar, segurança e acessibilidade na utilização, protecção contra o ruído, economia de energia e isolamento térmico e utilização sustentável dos recursos naturais.

O regulamento estabelece que o fabricante é responsável por um sistema de controlo que garanta que o produto está em conformidade com as especificações técnicas correspondentes, ou seja com as Normas Harmonizadas ou uma Avaliação Técnica Europeias emitida para esse produto. Assim, o fabricante deve elaborar uma declaração de desempenho em relação a características essenciais definidas nas normas harmonizada, tendo por base procedimentos de avaliação de desempenho, colocando depois a marcação CE no produto de construção indicando a conformidade do produto com o desempenho declarado. Ficam isentos desta obrigação os produtos singulares feitos por encomenda, os produtos fabricados em estaleiro e os produtos de fabrico tradicional destinados à conservação do património.

Nas disposições transitórias (Art.º 66.º) define-se que os produtos de construção colocados no mercado nos termos da anterior directiva 89/106/CEE estão conforme o novo regulamento antes de 1 de Julho de 2013 e que as directrizes para aprovação técnica europeia (ETAG)

podem ser utilizadas como Documentos de Avaliação Europeus. Define-se ainda que os fabricantes e importadores podem utilizar como Avaliações Técnicas Europeias as aprovações técnicas europeias emitidas antes de Julho de 2013 (Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia, 2011) durante a validade das aprovações¹⁰⁶.

A Aprovação Técnica Europeia estava vocacionada para produtos com carácter inovador, nomeadamente os Kits de componentes e solicitações de fabricantes específicas ou de produtos mais complexos que não estavam abrangidas por Normas Europeias Harmonizadas. Estas normas reflectem o estado do conhecimento técnico num dado momento e em princípio incidem sobre produtos mais simples que os Kits (LNEC, 2013).

Assim, os Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG - *Guidelines for European Technical Approvals*) com base nos quais se poderiam definir as Aprovações Técnicas Europeias (ETA - European Technical Approval) relevantes para a construção em madeira são os que constam da Tabela 19 (EOTA, 2013):

Tabela 19 - Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG - *Guidelines for European Technical Approvals*).

ETAG	Produto
003	Kits para divisórias - <i>Internal Partition Kits</i>
007	Kits para edifícios prefabricados com estrutura reticulada de madeira - <i>Timber Frame Building Kits</i>
008	Kits para escadas pré-fabricadas - <i>Prefabricated Stair Kits</i>
011	Vigas e pilares compósitos ligeiros à base de madeira - <i>Light Composite Wood-based Beams and Columns</i>
012	Kits para edifícios pré-fabricados com toros de madeira (associado ao ETAG 007 em 2012) - <i>Log Building Kits</i>
019	Painéis prefabricados resistentes com forros de derivados de madeira - <i>Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels</i>

IV.I.3 TRANSPORTE DE ESTRUTURAS

Quando se opta por desenvolver construções modulares, um dos principais constrangimentos a ter em conta é o do transporte. O tipo de transporte previsto exige que se considerem dimensões optimizadas em função dos regulamentos em vigor. Geralmente as dimensões autorizadas, são aproximadamente 2,50mx3,20mx12,00m (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, p. 46). Dimensões superiores são permitidas mas exigem autorizações especiais.

O Regulamento que fixa os pesos e as dimensões máximas autorizadas para veículos em circulação na redacção do Decreto-Lei n.º 133/2010 de 22 de Dezembro (Portugal, 2010), considera as dimensões máximas dos veículos quando em circulação: 12,00m de comprimento para veículos a motor de dois ou mais eixos e reboques de um ou mais eixos e 18,75m para conjunto veículo a motor-reboque; uma largura de 2,55m para qualquer veículo, 2,60m para veículos de transporte condicionado e 4,00m para veículos a motor e seus reboques (com larguras superiores a 3,25m deve haver uma escolta ao transporte); 4,00m de altura para veículos a motor e seus reboques. Nas referidas dimensões estão incluídas as superestruturas amovíveis e os dispositivos de carga como por exemplo os contentores. Quando são excedidas as dimensões ou os pesos regulamentares, aplica-se o Regulamento de Autorizações especiais de Trânsito (RAET) na redacção dada pela Portaria n.º472/2007 (Portugal, 2007a).

IV.J Avaliação de estruturas existentes

A informação disponível sobre metodologias de avaliação e inspecção de estruturas existentes (Cruz, et al., 2014) (Lourenço, 2012) será importante para o contexto das casas de madeira porque fornece informações de base para a elaboração dos programas de inspecção

¹⁰⁶ Depois de emitida, a ETA é válida em todos os países do Espaço Económico Europeu durante cinco anos (renovável).

que visem garantir a durabilidade da construção através da detecção atempada de problemas e da substituição programada de elementos com durabilidade pré-determinada.

As estruturas existentes, recentes ou antigas, deveriam ser periodicamente sujeitas a uma inspecção e avaliação da sua segurança estrutural e do seu grau de funcionalidade, que não deveria incidir apenas sobre a estrutura, facultando também uma apreciação da situação global do edifício. Segundo Cachim (2007) um dos principais problemas que se coloca neste tipo de avaliação é o da formação dos técnicos que procedem a estas avaliações. Normalmente estes são especialistas na detecção de degradações e na realização de tratamentos curativos, faltando-lhes no entanto conhecimentos para a análise estrutural. É por isso desejável que as equipas sejam pluridisciplinares.

Segundo Cruz et al. (2014) as metodologias de avaliação de estruturas históricas e estruturas comuns partilham dos mesmos processos apesar de, no primeiro caso, ser dado um enfoque ao objectivo de conservação dos componentes existentes. A avaliação específica para as estruturas históricas propostas por Cruz et al. (2014) é dividida em duas fases: a avaliação preliminar e a inspecção estrutural detalhada. A primeira consiste nos seguintes passos: análise histórico-documental do edifício, inspecção visual preliminar, inspecção dimensional e análise estrutural, após os quais se produz um relatório preliminar. A segunda fase inclui uma inspecção detalhada, após a qual se produz um relatório de diagnóstico seguido de uma proposta de intervenção.

Na perspectiva de Cachim (2007) a inspecção de estruturas de madeira deverá englobar os seguintes aspectos, dependendo da importância do edifício e da intervenção: a) análise da história do edifício, análise de desenhos existentes e análise de usos; b) Levantamento dos elementos fundamentais: data de construção, materiais, qualidade da madeira, sistema construtivo, dimensões das peças, reparações anteriores, incêndios, tipo de terreno, águas pluviais e freáticas, registo de ataques de insectos em edifícios vizinhos; c) Avaliação de eventuais degradações que afectaram a estrutura, em parte ou na totalidade; d) Análise do estado de conservação e resistência mecânica da madeira, avaliando-se o desempenho estrutural; e) Avaliação das secções transversais sãs e da sua capacidade de carga; f) Verificação de existências locais que possam precisar de reforço específico e intervenções de substituição ou de outros tipos.

Embora, como foi referido, as inspecções devam ser efectuadas por equipas multidisciplinares, sendo mesmo a inspecção visual dever ser feita por especialistas “que compreendam as estruturas de madeira” (Cruz, et al., 2014), no caso de habitações unifamiliares, o arquitecto poderá estar vocacionado precisamente para essa fase, em função da qual pode convocar outros especialistas. Esta fase pode incluir os seguintes procedimentos: avaliação global numa primeira fase; avaliação de cada elemento; determinação da espécie florestal utilizada, nós, fissuras e degradação aparente, risco biológico avaliado em função das condições ambientais (exposição), sinais de ataques de agentes biológicos na superfície da madeira (orifícios de saída, presença de serrim, etc.); outros factores (como data de construção; obstrução dos vãos de ventilação da cobertura; deterioração e obstrução de beirais, caleiras, tubos de queda, quebra de telhas); deformações irregulares ou anómalas que podem indiciar problemas estruturais (Cachim, 2007).

V CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

V.A Levantamento - Classificação dos sistemas

Parte dos documentos (manuais, relatórios e trabalhos académicos) que abordam os sistemas de construção em madeira não referem os critérios de classificação utilizados. Na maior parte dos casos as designações de cada sistema surgem como um dado adquirido e legitimado pelo uso corrente. A maior dos sistemas de classificação adoptam como critérios de agrupamento em classes os materiais, as características geométricas dos elementos estruturais, e o nível de industrialização dos processos de construção. A classificação apresenta-se como um problema nos contextos académicos, de projecto e comerciais porque podem conduzir a ambiguidades na comunicação.

V.A.1 CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

No artigo “The essential characteristics of industrialized building system” sobre as características da construção industrializada, elabora-se uma revisão sobre a classificação dos sistemas de construção industrializados (Thanoon, Peng, Kadir, Jaafar, & Salit, 2003). Neste trabalho cita-se a classificação de Warszawsky (1999), que com base na tecnologia de construção principal da estrutura e do material de fechamento, designa quatro grandes grupos: sistemas em madeira, sistemas em aço, sistemas em betão moldado *in situ* e sistemas em betão pré-fabricado. Segundo o mesmo autor, cada um destes sistemas pode ser classificado em função da configuração geométrica dos seus principais componentes, obtendo-se os seguintes sistemas: 1) Sistemas lineares ou sistemas reticulados ou de esqueleto (*skeleton*); 2) Sistemas planares ou sistemas de painéis (*panel system*); 3) Sistemas tridimensionais ou sistemas em caixa (*box systems*).

Um outro critério de diferenciação utilizado com frequência para obter uma maior distinção é o do peso relativo dos elementos de cada sistema. Thanoon (2003) citando Majzub, apresenta o critério do peso relativo dos componentes, referindo-se a sua importância do ponto de vista do transporte, produção e método de construção.

No	General System	System	Production Material
1	Frame system	Light weight frame	Wood, light gage metals
		Medium light weight frame	Metal, reinforced plastics, laminated wood
		Heavy weight frame	Heavy steel, concrete
2	Panel system	Light and medium weight panel	Wood frame, metal frame, and composite materials
		Heavy weight panel (factory produced)	Concrete
		Heavy weight panel (tilt up – produced on site)	Concrete
3	Box system (modules)	Medium weight box (mobile)	Wood frame, light gage metal, composite
		Medium weight box (sectional)	Wood frame, light gage metal, composite
		Heavy weight box (factory produced)	Concrete
		Heavy box (tunnel produced on site)	Concrete

Fig. 209 - Classificação de Sistemas de Construção (Majzub, 1977) in (Thanoon, Peng, Kadir, Jaafar, & Salit, 2003).

No artigo “Industrialized Building System (IBS): Revisiting Issues of Definition and Classification” (Kamar, Hamid, Azman, & Ahmad, 2011) comparam-se também diferentes classificações referentes à construção industrializada. Com base nesse estudo é efectuada a seguinte síntese: 1) *frame systems* (inclui o *prefabricated timber frame*); 2) *panelized systems*; 3) *onsite fabrication* (steel formwork); 4) *sub-assembly and components* (roof truss, balconies, staircases, toilets, lift chambers); 5) *block work systems*; 6) *hybrid systems*; e 7) *volumetric systems*.

Classification	Sub categories	Author
Mazjub's Building System Classification	<ul style="list-style-type: none"> Panel system Box system Frame system 	Majzub [32]
Industrialized System Classification (Razali-Badri's Classification)	<ul style="list-style-type: none"> Conventional building system Cast in situ formwork system Table or tunnel formwork Prefabricated system Composition system 	Badri et. al [13]
Warszawski's Building System Classification 1	<ul style="list-style-type: none"> Timber Steel Cast in situ concrete Precast concrete 	Warszawski [5]
Warszawski's Building System Classification 2	<ul style="list-style-type: none"> Linear Skeleton Planar Planar systems Three dimensional box systems 	Warszawski [5]
Pre-assembly and Pre-fabrication Classification	<ul style="list-style-type: none"> Component manufacture and sub-assembly Non-volumetric sub-assembly Volumetric pre-assembly Modular system 	Gibb & Issac [27]
IBS Classification (CIBD)	<ul style="list-style-type: none"> Pre-cast concrete framing Panel and box systems Steel formwork systems Steel framing systems Prefabricated timber framing system Block work system 	Shaari & Ismail [2] CIBD [1] MIGHT [20] Chung [10] CIBD [23]
Modern Method of Construction (MMC) Classification	<ul style="list-style-type: none"> Volumetric Panelized Hybrid Subassemblies and components Non-off-site-Modern Methods of Construction 	Gibb & Pendiebury [33]
IBS Classification (UTM)	<ul style="list-style-type: none"> Pre-cast concrete-framed building Pre-cast concrete wall system Reinforced concrete building with pre-cast concrete slab Steel formwork system Steel-framed building and roof trusses 	Rahman & Omar [11]
Bruno-Richard's IBS Classification	<ul style="list-style-type: none"> Site intense kit part Factory made module Hybrid 	Richard [34]
Off-Site Manufacturing (OSM) Classification	<ul style="list-style-type: none"> Volumetric system Panelized system Hybrid system Sub-assemblies and component system Modular system 	Abosad et al. [35]

Fig. 210 - Comparação de sistemas de construção industrializados (Kamar, Hamid, Azman, & Ahmad, 2011).

Em “Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente” o autor (César, 2002) cita o trabalho de levantamento dos sistemas construtivos elaborado por INO em 1992, apresentando os seguintes critérios de classificação de soluções construtivas: 1) grau de industrialização (primitivo, tradicional artesanal, tradicional) racionalizada, com formas industrializadas e elementos pré-fabricados; 2) material (madeira, pedra, tijolos, blocos de betão, construção com terra); 3) tipologia de estrutura resistente (estrutura reticulada, estrutura de parede); e 4) tipo de construção (pesada, semi-leve e leve).

PAÍS	AUTOR	SISTEMA CONSTRUTIVO (S.C.)	
Estados Unidos da América (EUA)	ANDERSON (1978)	<i>"Platform"</i> <i>"Balloon Frame"</i> <i>"Mobile Home"</i>	
Países Andinos	Junta de Acordo de Cartagena – PDTA – REFORT (1984)	Sistema Estrutural	Sistema Pilar e viga
			Sistema Enramado <i>"Platform" Global ou Integral ("Balloon Frame")</i>
		Sistema Produtivo	S.C. não Industrializado vemacular S.C. Semi – Industrializado (Pré-cortado na fábrica, montado na obra) S.C. Industrializado Pré – Fabricado Parcial ou Pré-Fabricado Total
Japão	SUGIYAMA (1982)	Sistema convencional	Tradicional
		Sistema 2" X 4"	Tradicional simplificado
			Sistema Americano
		Sistema Pré-Fabricado de Madeira	Entramado Painéis Painéis Modulares Paredes em madeira Maciça

Alemanha	GÖTZ (1987)	Sistema Estrutural (Ossatura em Madeira)	"Colombage"	Construção Tradicional
			Pilar-Viga (Peça simples)	Viga Contínua Apoiada nos Pilares (1º e 2º Pavimento)
			Pilar-Viga (Peças Múltiplas)	Pilar Contínuo – Vigas abraçam os Pilares
			Nervuradas	Viga Contínua – Pilares abraçam as Vigas
	HOOR (1987)	Construção com Painéis	"Platform"	
			"Balloon Frame"	
França	"Centre Scientifique et Technique du Batiment" (BROSSY & FONTAN-1985)	Pilar-Viga	Pequenos Painéis Portantes	
		Ossatura	Grandes Painéis Portantes	
		Painéis Estreitos	Elementos Especiais	
		Painéis largos	Painéis não Portantes	
		Módulo Tridimensional		
		Pilar-Vigas		
Brasil	INO (1992)	Painéis		

Adaptado de INO (1992).

Fig. 211 - Sistemas de construção de madeira classificados pela tipologia da estrutura (César, 2002, pp. 109,110).

No artigo "Habitação económica no Brasil: Estado da arte" (Silva & Ino, 2008), elabora-se um quadro com uma classificação dos sistemas construtivos em madeira "sob o enfoque estrutural e produtivo", em diversos países. Os autores incluem no quadro tipos construtivos que não se restringem à tipologia definida no título (habitação económica). Refere-se no texto que os critérios de classificação encontrados foram: 1) a afinidade dos materiais; 2) a afinidade do processo construtivo; 3) a tipologia da estrutura; 4) o peso alcançado; 5) o grau de industrialização; e 6) o material utilizado nas paredes.

Países Andinos	Enfoque Estrutural	Sistema Pilar e Viga		
		Sistema Enramado	Plataforma (<i>plataform</i>)	
	Enfoque Produtivo	Sist. Não Industrializado	Global (<i>ballon frame</i>)	
		Sist. Semi-industrializado	Vernacular e habilitado	
EUA	Sistema Enramado	Sist. Constr. Industrializado	Sistema pré-cortado	
			Pré-fabricação parcial ou total	
			Balão (<i>balloon frame</i>)	
	Casa de troncos (<i>Log Homes</i>)		Plataforma (<i>plataform</i>)	
Alemanha	Ossatura de Madeira	Colombage		
		Pilar-viga (peça simples)	Viga contínua apoiada	1 pavimento
			Pilar contínuo	2 pavimentos
		Pilar-viga (peças múltiplas)	Pilar contínuo abraçado pela viga	
	Construção com painéis		Viga contínua abraçada pelo pilar	
		Nervuras	Balão (<i>balloon frame</i>)	
			Plataforma (<i>plataform</i>)	
		Pequenos painéis portantes		
		Grandes painéis portantes		
		Elementos espaciais		
França	Grau de industrialização (famílias tecnológicas)	Painéis não portantes		
		Pilar-Viga		
		Ossatura	Balão (<i>balloon frame</i>)	
			Plataforma (<i>plataform</i>)	
		Painéis estreitos	Altura simples	
			Altura dupla	
Japão	Sist. Convencional "Zairai Koho"	Painéis largos		
		Módulos tridimensionais		
		Tradicionais		
		Tradicionais Simplificados		
	Sistema Pré-fabricado	Sistema 2" x 4" (Sistema Americano)		
		Entramado		
		Painéis		
		Painéis Modulares (kits)		
		Painéis em madeira maciça		
		Outros		

Fonte: a partir de INO (1995), BENEVENTE (1995) e ROSÁRIO (1996)

Fig. 212 - Classificação de sistemas construtivos em madeira em diferentes países (Silva & Ino, 2008).

A classificação dos sistemas construtivos existentes no Brasil é sistematizada pelos autores (Silva & Ino, 2008) numa tabela em que os critérios assumidos são o da geometria e da forma da estrutura. Obtém-se assim a seguinte classificação: 1) sistemas pilar-viga; 2) sistemas entramados; 3) sistemas de painel; e 4) troncos encaixados.

Sistema Pilar - Viga	Peças Simples	
	Peças Encaixadas	
Sistema Entramado	Enxaimel	Ibérico
		Centro-Europeu
	Plataforma (platform)	
	Balão (balloon frame)	
Sistema Painei	Painel Estrutural	
Troncos Encaixados	(Blocause)	

Fonte: complementação a INO (1995) e WEIMER (2005)

Fig. 213 - Classificação de sistemas construtivos em madeira destinados à habitação utilizados no Brasil com foco na estrutura (Silva & Ino, 2008).

Por fim apresenta-se um quadro em que se utiliza o critério geral do “enfoque produtivo”, ou seja agrupam-se os sistemas pelo nível de industrialização do processo construtivo. Assim, distinguem-se: 1) sistemas tradicionais (sistemas vernáculos); 2) sistemas convencionais (usa componentes padronizados); 3) sistemas racionalizados (pré-fabricação em série e montagem organizada); e 4) sistemas industrializados (montagem mínima na obra).

Sistema Tradicional	Entramado de taipa ou pau-a-pique
	Troncos na vertical (Ex.: o rancho de palmito)
	Troncos na horizontal (madeira roliça ou falquejada)
Sistema Convencional	Enxaimel ibérico
	Enxaimel centro-europeu
	Pilar-viga simples
Sistema Racionalizado	Pilar-viga simples com componentes pré-usinados (Ex: Ita)
	Pilar-viga com peças encaixadas (Ex.: Casema)
	Plataforma (Ex.: UFSC/Battistella)
	Painéis pré-fabricados (Ex.: IPT)
	Madeira roliça torneada (Ex.: Casabella)
Sistema Industrializado	(não existe correspondente no Brasil)

Fig. 214 - Classificação de sistemas construtivos em madeira destinados à habitação utilizados no Brasil com foco na produção (Silva & Ino, 2008).

Em “Projectar em madeira: Uma nova abordagem” (Mello, 2007), o autor refere-se à classificação de Gotz e Bittencourt que parece ser aquela que cobre de uma forma mais completa o universo dos sistemas estruturais em madeira: 1) estruturas hierarquizadas; 2) estruturas nervuradas; 3) estruturas de painéis e 4) estruturas tridimensionais.

Sistema	Descrição	Sistema	Descrição
Estruturas hierarquizadas	- sistema estrutural com elementos portantes em grandes vãos, com poucos pontos de apoio e independência entre trama estrutural e fechamentos; bastante empregado na Europa.	Não industrializado	1. Vernacular – material com pouca ou nenhuma transformação e disponível nas proximidades da obra; métodos tradicionais com pouca tecnologia.
Estruturas nervuradas	- sistema estrutural derivado do entramado de madeira, devido à evolução das ligações metálicas e industrialização dos componentes de madeira, é o mais empregado em habitações na América do Norte e Europa.		2. Semi pré-cortado – utiliza peças de madeira bruta provenientes de serrarias, para serem finalizadas na obra com equipamentos simples de carpintaria.
Estruturas de painéis	- evolução dos sistemas nervurados, pois as vedações são pré-fabricadas na forma de painéis, largos ou estreitos, permitindo a confecção do entramado para posterior transporte para o canteiro de obras.	Semi-industrializado	3. Pré-cortado – as peças chegam prontas na obra em fardos, devidamente bitoladas e numeradas de acordo com a colocação na edificação; trata-se de um dos métodos mais antigos de pré-fabricação e um dos mais econômicos pela redução de perdas na madeira.
Estruturas tridimensionais	- com mesmo princípio construtivo dos painéis, trata-se de módulos tridimensionais com piso, teto e paredes externas executado industrialmente; limitados pelos custos de transporte e de montagem no canteiro.	Industrializado	4. Pré-fabricação parcial – os componentes tais como tesouras de cobertura, painéis internos e externos, chegam prontos, efetuando-se a montagem da casa. 5. Pré-fabricação total – a casa chega pronta sobre caminhões e é fixada nas fundações com guindastes.

Fonte: a partir de GOTZ et al. (1983) e BITTENCOURT (1985).

Fonte: CARTAGENA (1982).

Fig. 215 - Classificação de sistemas estruturais em madeira e alternativa com base nos processos de fabrico (Mello, 2007).

Refere-se depois Cartagena que propõe duas classificações distinguindo “sistema estrutural” de “sistema construtivo”. Para o sistema construtivo identificam-se três sistemas: 1) não industrializado (1a-vernaculário; 1b-semi pré-cortado); 2) semi-industrializado e 3) industrializado (3a - pré-fabricação parcial; 3b - pré-fabricação total). Mello (2007) descreve ainda os sistemas estruturais presentes no Brasil, classificados do seguinte modo: 1) parede estrutural em pranchas (CASEMA); 2) painéis portantes; 3) sistemas pilar-viga; 4) estruturas pré-fabricadas (Mello, 2007, p. 147).

Em “Análise dos sistemas construtivos portugueses” (Faria F. , 1997), referindo que apesar de existirem modos de decomposição e classificação das partes de um edifício (pela organização da obra, em elementos funcionais e em níveis hierárquicos) são escassos os métodos de classificação do edifício no seu conjunto. Assim, o autor elabora uma proposta de classificação dos sistemas construtivos em três grandes grupos definidos por critérios relacionados com a forma e com o tipo de ligação dos vários elementos de construção: “Classe I Construção de Alvenaria Portante”; “Classe II Construção em elementos articulados”; “Classe III Construção em estrutura encastrada contínua” (com rigidez nas junções). É na “Classe II, Construção de elementos articulados”, ou seja na “*construção por elementos individualizados (peças), articulados por assemblagens e organizados hierarquicamente em vários níveis*” (Faria F. , 1997), que se inclui a construção em madeira (Tipo II). Esta classificação demonstra a reduzida importância da construção em madeira em Portugal, sendo possível identifica-la, no nosso território, com apenas um tipo de sistema (porticados de pilar-viga).

Em “Casas de madeira - Sistemas constructivos a base de madeira aplicados a vivendas unifamiliares” (Peraza Sánchez, et al., 1995), uma obra citada em muitos trabalhos académicos, sistematizam-se os sistemas de construtivos em madeira para habitação em: 1) casas de troncos; 2) casas de entramados pesados; 2a) “*sistema adintelado*” (porticado tipo pilar-viga); 2b) sistema entramado (timber frame); 2c) sistema de nós rígidos; 3) casas de entramado ligeiro (*light framing*); 3a) entramado tipo plataforma; e 3b) entramado tipo globo (*balloon frame*).

Em “Technologies de construction bois” (Bignon & Critt-Crai, 2003) os sistemas construtivos correntes para habitação e pequenos edifícios apresentados são os seguintes: 1) “*ossature légère*”; 2) “*poteaux et poutres*”; 3) “*madriers empilés*”; e 4) “*colombage*”. A lista de sistemas é completada através da enumeração das possibilidades dos processos de construção associadas a cada um. A “*ossature légère*” subdivide-se em “*construction sur site*”; “*construction par petits panneaux*”; “*construction par grands panneaux*”; “*construction en modules tridimensionnels*”. O sistema “*poteaux et poutres*” diferencia-se em função do tipo de junção pilar-viga: “*poteaux double moisant*”; “*poteau simple continu*”; “*poutre simple continue*”. O sistema de “*murs en madriers ou rondins empilés*” pode ser distinguido pelos diferentes perfis dos toros: troncos simples; toros maciços; “*madriers contrecollés*”; “*madriers composites*” (toros com isolamento integrado). O autor não considera os sistemas de painéis maciços ou alveolares como sendo sistemas estruturais autónomos. Este tipo de elementos é incluído na secção de pavimentos intermédios (*planchers*). São incluídos nos painéis os seguintes tipos: “*planchers par solivage*”; “*planchers en bois massif*”; “*planchers caissons*”; “*planchers mixtes bois-béton*” (Bignon & Critt-Crai, 2003, p. 101). Este é um sistema de classificação que assume em primeiro lugar a natureza do sistema e só num segundo nível abrange as dimensões, as ligações e as formas de agregação.

V.A.2 CLASSIFICAÇÕES CLÁSSICAS

Na tese “Timber construction and material information exchanges for the design of complex geometrical structures” (Aparicio Jr, 2010, pp. 18-21) os sistemas de construção em madeira são apresentados com a seguinte divisão: “log construction”, “traditional timbered structures”, “heavy timber construction” (não sendo claro se é apresentado como uma característica do sistema anterior), “timber frame construction”, “skeleton construction”, “laminated timber construction” (não sendo também aqui claro se é apresentado como uma característica do sistema anterior). Detecta-se neste caso alguma ambiguidade especialmente porque não são claros os critérios de classificação.

No texto “El futuro de la construcción com madera” (Grohe, 2001) apresentam-se as distintas tipologias de sistemas construtivos: 1) estruturas de esqueleto ou porticadas; 2) sistemas de entramado ligeiro; 3) sistemas espaciais; e 4) sistemas superficiais. Dentro desta última tipologia, apresentam-se várias soluções: 4a) placas nervuradas e laminadas contraplacados; 4b) placas de madeira laminada; 4c) madeira laminada contraplacada; 4d) placas de aglomerado.

O “Manual - La construcción de viviendas en madera” (Fritz Durán, 2004) classifica os sistemas estruturais de vãos em: 1) “estructuras macizas” (toros); 2) “estructuras de placa” (painéis pré-fabricados); e 3) “estructuras de entramados” (com elementos estruturais básicos de vigas, pilares, columnas, postes e montantes). Depois em função da forma de transmissão de cargas às fundações distingue entre os sistemas: a) de pilar-viga; e b) de painéis portantes, distinguindo-se neste último grupo o sistema contínuo do sistema plataforma. Esta é também a lógica da classificação Masterformat (CSI - Construction Specifications Institute, 2005):

DIVISION 06 - WOOD, PLASTICS, AND COMPOSITES

06 00 00 WOOD, PLASTICS, AND COMPOSITES

06 10 00 ROUGH CARPENTRY

06 10 53 Miscellaneous Rough Carpentry

06 10 91 Curved Wood Members

06 11 00 Wood Framing

06 11 13 Engineered Wood Products

06 11 16 Mechanically Graded Lumber

06 12 00 Structural Panels

06 12 13 Cementitious Reinforced Panels

06 12 16 Stressed Skin Panels [SSP, SIP, FP]

06 13 00 Heavy Timber

06 13 13 Log Construction

06 13 13.91 Period Horizontal Log Work

06 13 16 Pole Construction [originalmente com postes de secção circular]

06 13 23 Heavy Timber Construction [pilar-viga]

06 13 33 Heavy Timber Pier Construction

06 14 00 Treated Wood Foundations

06 15 00 Wood Decking

06 15 13 Wood Floor Decking

06 15 13.91 Carvel Planking

06 15 16 Wood Roof Decking

06 15 19 Timber Decking

06 15 23 Laminated Wood Decking

06 15 33 Wood Patio Decking

06 16 00 Sheathing

06 16 13 Insulating Sheathing

06 16 23 Subflooring

06 16 26 Underlayment

06 16 29 Acoustical Underlayment

06 16 33 Wood Board Sheathing

06 16 36 Wood Panel Product Sheathing

06 16 43 Gypsum Sheathing

06 16 53 Moisture-Resistant Sheathing Board

06 16 63 Cementitious Sheathing

06 17 00 Shop-Fabricated Structural Wood

06 17 13 Laminated Veneer Lumber

06 17 23 Parallel Strand Lumber

06 17 33 Wood I-Joists

06 17 36 Metal-Web Wood Joists

06 17 43 Rim Boards

06 17 53 Shop-Fabricated Wood Trusses

06 18 00 Glued-Laminated Construction

06 18 13 Glued-Laminated Beams

06 18 16 Glued-Laminated Columns

O sistema “pole construction” não surge nas classificações clássicas dos sistemas de construção de habitação, surgindo referido no sítio Buildipedia.com (Buildipedia Staff, 2012) como um sistema desenvolvido nos anos 30, recorrendo originalmente a postes redondos, e

com vocação para estruturas de garagens, armazéns e hangares, mas também utilizado em edifícios residenciais e comerciais.

Em “Architect’s data” (Neufert & Neufert, Architects’ Data, 2002, p. 271) as casas de madeira (timber construction) surgem ilustradas pela seguinte ordem: 1) “*log construction method*” (troncos); 2) “*block construction method*” (toros); 3) “*timber frame*” (pilar-viga); 4) “*visible frame*” (reticulado tradicional); 5) “*balloon frame*”; e 6) “*panel construction*” (painéis).

Em “A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas” (Valle, 2011, pp. 51-62), são considerados como mais difundidos os seguintes sistemas estruturais: 1) pilar-viga (viga contínua/ pilar interrompido; viga interrompida/ pilar contínuo; vigas duplas e contínuas/ pilar simples e contínuo; vigas simples e contínuas/ pilar duplo e contínuo; 2) entramado (*balloon frame* e *platform* e entramado tradicional europeu *colombage*, correspondente ao enxaimel no Brasil); 3) madeiras maciças empilhadas (peças serradas e peças roliças); e 4) painéis pré-fabricados.

Em “Timber construction manual” (American Institute of Timber Construction, 2012), apresentam-se os seguintes sistemas estruturais: 1) “*post and beam framing*”; 2) “*light frame construction*”; 3) “*pole construction*”; 4) “*post frame construction and timber piles*”; 5) “*timber trusses*”; 6) “*glulam arches*”; e 7) “*strutural diaphragms*”.

V.A.3 CLASSIFICAÇÕES ABRANGENTES

Os diversos sistemas de classificação podem ser ordenados em função do tipo de critérios que adoptam. O critério mais evidente e abrangente parece ser o critério da geometria e da forma da estrutura. É neste contexto que embora com terminologias diferentes é possível encontrar muitas fontes que utilizam esta sistematização.

Em “The world of timber” (German Timber, 2006) apresentam-se os seguintes sistemas: 1) “*log construction*”; 2) “*half-timbered frame construction*”; 3) “*skeleton frame construction*”; 4) “*frame construction*” (“*platform frame and column construction*” ou “*balloon frame*”); 5) “*panel construction*”; 6) “*module construction*”. Depois englobam-se os sistemas novos (“*new timber construction systems*”) numa categoria onde se incluem: 7) “*solid layered board elements*”; 8) “*nail laminated construction*”; 9) “*doweling laminated elements*”; 10) “*timber hollow blocks*”; 11) “*one storey high sheet glued elements*”.

Em “Components and systems - modular construction - design, structure, new technologies” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008) descrevem-se três sistemas estruturais, contemplando cada um deles o recurso ao aço, à madeira e ao betão: 1) “*timber frame systems*”; 1a) “*post and beam*”; 1aa) “*post and beam*” (com ligadores); 1b) “*beam and column*”; 1c) “*column and double beam*”; 1d) “*double column and beam*”; 1e) “*timber space frames*” (sistema MERO); 1f) “*timber frame construction*” (tradicional); 1g) “*timber stud construction*”; 1ga) “*platform frame*” (evoluiu para timber panel construction); 1gb) “*balloon frame*” (sistemas derivados: “*frameworks building system - truss Joist sprl*”); 2) “*timber panel building methods*”; 2a) “*timber panel construction*”; 2aa) “*timber panel construction*”; 2aa1) “*timber block panels*” (Lignotrend, Lignatur); 2aa2) “*solid timber panels*”; 2b) “*timber framework construction*” (evolução do timber frame e do lightweight stud - Agepan Glunz AG); 2c) “*timber block construction*” (toros); 2d) “*timber modules*” (blocos modulares de madeira - Steko-Holzbausysteme AG); 3) “*room module systems*” (Staib, Dörrhöfer, & Rosenthal, 2008, p. 114).

Em “Timber construction manual” (Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz, & Winter, 2008) os autores caracterizam os diversos sistemas, distinguindo-os principalmente pelo comportamento estrutural no plano horizontal e pela forma como os elementos verticais e os

horizontais se ligam. Apresentam os seguintes princípios de construção: 1a) “continuous beams”; 1b) “continuous columns, primary and secondary beams”; “primary and secondary beams in pairs”; 1c) “continuous columns, primary and secondary beams”, “columns and secondary beams in pairs”; 1d) “continuous columns”, “primary and secondary beams at same level”; 2) “panel construction” (“timber-frame”, “platform construction”); 3) “timber-frame construction” (“platform construction”, “balloon frame construction”); 4) “edge-glued timber”; 5) “cross-laminated timber”.

V.A.4 CLASSIFICAÇÕES SIMPLES

As classificações simples são aquelas que visam descrever apenas os sistemas relevantes num determinado contexto, não havendo grande preocupação em estabelecer critérios de classificação. Na América do Norte por exemplo é comum utilizarem-se classificações simples como as que surge no manual “Construction contracting” (Jones, 1986) considera os seguintes quatro tipos básicos de estrutura: 1) “braced framing”; 2) “platform frame”; 3) “balloon frame”; 4) “plank-and-beam frame”. No limite da simplificação diferenciam-se apenas dois sistemas como acontece no “Tratado de construcción” de Schmitt (Tratado de construcción, 1978), onde se distingue, na construção em madeira, os “entramados de madeira executados piso a piso” dos “entramados de madeira com pés direitos contínuos”.

No manual “Building design and construction handbook”, referenciando-se aos manuais “Plank and beam framing for residential buildings” e “Manual Wood frame construction” da American Forest & Paper Association (Showalter & Williamson, 2000, p. 10.76) descrevem-se os sistemas “wood-frame construction” que se consideram os predominantes para a construção de habitações. Dentro deste sistema, apresentam-se as variantes de “platform-frame” e “plank-and beam”: 1) “platform frame” é o sistema em que as vigas do primeiro piso são completamente cobertas com o subpavimento (“subflooring”) que forma uma plataforma na qual as paredes e compartimentações interiores são construídas; 2) “plank-and-beam” é um sistema que requer menos elementos (vigas, montantes, etc.), com maiores espaçamentos entre si, mas de maior dimensão; 3) “post frame e pole construction” são sistemas em que se usam estacas (de secção circular ou rectangular) instaladas no solo.

O manual inglês “The construction of buildings” (Barry, 1999) na secção “paredes”, apresentam-se as “timber-frame walls” como o nome genérico do sistema leve de construção em madeira. Nesta categoria o autor distingue os sistemas “storey height” do sistema mais usual, o “platform” frame e nomeia depois os sistemas pré-fabricados (*prefabricated timber frames*) recorrendo a ambos os sistemas. Também em “Building construction handbook” (Chudley & Greeno, 2004, p. 372), os sistemas de construção em madeira (*timber frame construction*) são apresentados como derivados de duas técnicas: o “balloon frame” e o “platform frame”. A característica que é apresentada como diferenciadora é a altura dos painéis (*2-story panels ou single storey height panels*).

Em “Architectural structures” o autor (Schierle, 2006) elabora uma divisão simples entre “sistemas heavy timber” e “grid structures”, nos quais inclui o “balloon framing” e o “platform framing”. Ilustra depois a subdivisão do sistema “heavy timber” através das variações dos seus elementos (*post, beam, joist framing*): “flush joint” (pilar e viga), “twin beam/single post” e “single beam and twin post”.

V.A.5 CRITÉRIO DA GEOMETRIA E FORMA DA ESTRUTURA

Em “Una visión de la construcción industrializada” McLuhan (1976, p. 70) considera que a estrutura, ainda que não seja o subsistema dos edifícios mais importante em termos de custo e complexidade, é considerada o centro de qualquer sistema construtivo. Considera ainda

que é o “conceito estrutural” que define o modelo para o “construtor de sistemas” (McLuhan, 1976). Assim, os sistemas são classificados - independentemente do material (madeira, betão, metal ou plástico) - em unidireccionais, bidireccionais, e tridimensionais (lineares, planos e volumétricos), designando-os por “esqueletos”, “placas” e “caixas”. Em relação às características de cada sistema, o autor considera que não se podem elaborar avaliações absolutas sobre a maior ou menor qualidade, considerando que se pode no entanto observar a maior ou menor adequação em relação a situações específicas. É ainda referido que à medida que se passa do “sistema-esqueleto” para o “sistema-caixa” diminui a flexibilidade, mas aumentam as vantagens associadas à produção em fábrica.

Affentranger (2005, p. 27) considera que os princípios de *design* estrutural podem ser divididos em dois grupos: o “tipo viga” e o “tipo painel”. O primeiro pode depois ser dividido em vertical e horizontal. A classe horizontal inclui a construção em toros (“log” em inglês, ou “block” em alemão). A classe vertical contempla um grupo mais vasto, incluindo as gaiolas (*half timbering*) e diversos entramados como os porticados. O segundo grupo pode ser subdividido em estruturas de asnas e painéis (um dos mais conhecidos) e estruturas de construção maciça (painéis maciços).

Em “Building simply with wood” o autor (Affentranger, 2005) propõe a divisão dos princípios estruturais da construção em madeira em dois grupos: 1) “*beam-shaped*” (materiais em forma de viga) e 2) “*panel-shaped*” (materiais em forma de painel). O grupo “*beam type*” é dividido em 1.1) horizontal ou 1.2) vertical. A variante horizontal inclui apenas as 1.1.1) “*block constructions*”, referidas também como “log constructions”. A variante vertical inclui muitos tipos: 1.2.1) “*half-timbering*” (*with diagonal bracing*), 1.2.2) “*frame construction*” (*with diagonal bracing*) e o grupo dos 1.2.3) “*skeleton construction methods*” (*with the nodes providing the bracing*). Os “*panel type construction principles*” podem ser subdivididos em: 2.1) “*solid wood construction*” e 2.2) “*spatial truss and panel structures*” (*ribbed panel structures and building unit systems*).

Em “Técnicas de construção ilustradas” (Ching & Adams, Técnicas de construção ilustradas, 2001) consideram-se nos “sistemas de paredes” três tipos: 1) paredes com montantes; 2) paredes de viga e pilar; e 3) paredes portantes. Esta parece ser a classificação clássica de estruturas verticais: estruturas de elementos lineares, alveolares e maciças. Assim, teríamos 1) paredes de montantes de madeira (“*balloon framing*” e “*platform framing*”); 2) estruturas de vigas e pilares de madeira; e 3) paredes portantes de alvenaria e betão armado.

Em “Prefab Architecture: a guide to modular design and construction”, o autor (Smith, 2011) considera que os sistemas estruturais podem ser agrupados em dois tipos genéricos: “*mass structures*” (estruturas maciças) e “*frame structures*” (estruturas reticuladas). Adianta que os sistemas reticulados (“*frame systems*”) requerem sistemas de resistência aos esforços laterais. Devendo por esse motivo ser divididos em: “*braced frames*” (retículas de travamento), “*shear walls*” (parede contra-ventada) e “*rigid frames*” (reticulados rígidos).

Um relatório sobre métodos modernos de construção, definidos como processos para produzir mais casas, com melhor qualidade e em menos tempo (National Audit Office, 2005) recorre à seguinte classificação: 1) painéis (“*panelized units*”); 2) Construção volumétrica (“*volumetric construction*”); 3) técnicas híbridas (“*hybrid techniques*”); e 4) Outros (“*floor or roof cassettes*”, “*pre-cast concrete foundation assemblies*”, “*pre-formed wiring looms*” and “*mechanical engineering composites*”).

No “Manual de projecto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento” (Calil Junior & Brito, 2010) referem-se aos seguintes sistemas estruturais, privilegiando-se o critério do comportamento estrutural (cálculo estrutural feito através de elementos individuais, pórticos ou painéis: 1) sistemas estruturais de “viga-coluna” para edificações; 2) sistemas estruturais de pórticos para edificações; e 3) sistemas estruturais compostos por painéis de paredes autoportantes (toros).

V.A.6 CRITÉRIO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Em “Sistemas estruturais” (Engel, 2003, pp. 42-44) a classificação dos sistemas estruturais é realizado mediante a organização em famílias, tipos e elementos estruturais. Os critérios adoptados são: 1) os mecanismos característicos de redistribuição e transmissão de forças; 2) as denominações convencionais; e 3) a característica geométrica ou construtiva do elemento portante. Classificam-se genericamente as estruturas em: 1) Sistemas de forma activa; 1.1) sistemas de cabo; 1.2) sistemas de tenda; 1.3) sistemas pneumáticos; 1.4) sistemas de arco; 2) sistemas de vector activo; 2.1) treliças planas; 2.2) treliças planas combinadas; 2.3) treliças curvas; 2.4) treliças espaciais; 3) sistemas de secção activa; 3.1) sistemas de vigas; 3.2) sistemas de pórticos; 3.3) sistemas de retícula de vigas; 3.4) sistemas de lajes; 4) sistemas de superfície Activa; 4.1) arranha-céus tipo modular; 4.2) arranha-céus de vão livre; 4.3) arranha-céus em balanço; 4.4) arranha-céus tipo ponte.

Em “Diseño estructural en madera” (Rodríguez Nevado, 1999) é proposta uma classificação sistemática dos tipos estruturais em madeira. O autor partiu de uma “população” de estruturas de madeira ao qual aplicou critérios de classe em função de atributos comuns. Não deixa no entanto de referir que não existe suficiente univocidade na classificação obtida uma vez que existem sistemas compostos de outros sistemas do mesmo nível. Assim o que se propõe é mais uma análise e agrupamento prévio das estruturas que poderá dar origem a uma possível classificação. A classificação foi efectuada considerando três níveis: o tipo de esforço característico do grupo e os diferentes enfoques formais à escala global e à escala local:

A - FLECTOR; AA-Sistemas tridimensionais; AAA-Entramados pesados; AAB-Entramados ligeiros; AB-Pórticos paralelos; ABA-Miembros escindidos; ABB-Miembros contínuos; B - FLECTOR + CORTANTE; BA-Emparrillados planos; BAA-Mallas ortogonales; BAB-Mallas oblicuas; BB-Panelados; BBA-Paneles nervados; BBB-Paneles superficiales; C - FLECTOR + AXIAL; CA-Configuraciones primarias; CAA-Elementos básicos; CAB-Elementos peraltados; CB-Pórticos contínuos; CBA-Miembros rectos; CBB-Formas de transición; CBC-Miembros curvos; CC-Elementos Multisoportados; CCA-Sistemas jabalconados; CCB-Sistemas subtensionados; CCC-Sistemas colgados; D - AXIAL; DA-Cerchas básicas; DAA-Cordones rectos; DAB-Cordones curvos; DAC-Arcos de alma en gelosía; DB-Cerchas compuestas; DBA-Cerchas peraltadas; CBB-Pórticos triangulados; DC-Triangulaciones planas no paralelas; DCA-Sistemas horizontales; DCB-Sistemas verticales; DD-Triangulaciones espaciales no ortogonales; DDA-Emparrillados de celosía; DDB-Entramados tridimensionales; DDC-Cúpulas reticuladas; E - AXIAL+CORTANTE; EA-Sistemas plegados o laminares; EAA-Láminas nervadas; EAB-Láminas superficiales; EAC-Subsistemas planos reticulados; EB-Membranas e cascarones; EBA-Nervados; EBB-Superficiales; EBC-Reticulados (Rodríguez Nevado, 1999).

Em “Structural Timber Design to Eurocode 5” os autores (Porteous & Kermani, 2007) apresentam os requisitos de design de vários elementos de construção em madeira segundo o Eurocódigo 5. O capítulo 5, dedicado ao desenho de elementos (members) sujeitos a flexão inclui as vigas de secção rectangular, as vigotas de pavimento, as varas e madres (“*solid section rectangular beams, floor joists, rafters and purlins*”). No mesmo capítulo, os conteúdos que se referem às acções axiais ou combinadas axiais e de flexão incluem-se as treliças, os pilares, as paredes verticais de montantes e os elementos de travamento (“*members of a truss, posts or columns, vertical wall studs and bracing elements*”) (Porteous & Kermani, 2007, p. 148). O capítulo 6 abrange os elementos de madeira laminada colada, e o capítulo 7 contempla os elementos de secção compósita tipo “I-beams” e “box-beams”. Nos capítulos 8, 9, 10 e 11 incluem-se respectivamente as colunas compostas por dois ou mais elementos, os diafragmas de estabilização e travamento de pavimento, as paredes e as ligações metálicas tipo parafuso e prego, e finalmente as juntas com ligadores.

V.A.7 CRITÉRIO DO PESO

Em “Materials standards structures” (McMorrough, 2006) apresenta as soluções de madeira como tendo duas variantes básicas: 1) “*wood light framing*” referindo o “*platform framing*” e o “*balloon framing*” e 2) “*heavy timbers*” (pilares e vigas). Neste caso são realçadas as características do segundo grupo em termos de resistência estrutural e resistência ao fogo. Embora a madeira (“*timber*”) seja um termo definido no IBC (International Building Code) como um elemento de dimensões mínimas nominais de 5'x5', uma construção em madeira pesada (“*heavy timber - Type IV*”) é classificada no IBC como tendo dimensões nominais mínimas de 6'x10' para vigas de pavimento, 6'x8' para vigas de cobertura, 8'x8' para pilares de edifícios de andar, e 6'x8' para pilares de edifícios térreos. (Metha, Scarborough, & Armpriest, 2011, p. 351).

Hopkin (2011), em “The fire performance of engineered timber products and systems”, aceita a divisão genérica das estruturas de madeira em duas categorias: 1) construção pesada em madeira, com secções geralmente superiores a 300mm (“*heavy timber construction*”); e 2) reticulados leves de madeira (“*light timber frame*”). O autor refere-se a esta distinção principal tendo em conta o comportamento ao fogo associado a cada uma das categorias. Enquanto as estruturas de grande secção podem ser consideradas resistentes ao fogo, as estruturas reticuladas leves têm de ser protegidas com painéis e/ ou com tratamentos retardadores. Também em “Design-Tech - building design for Architects” (Alread & Leslie, 2007) se distinguem os sistemas: 1) “*heavy timber*”, descritos como sistemas com colunas, vigas e vigotas expostas de grandes dimensões; e 2) “*light frame*” que inclui os sistemas “*platform frame*” e “*balloon frame*”.

V.A.8 CRITÉRIO DA MASSA

O critério peso é importante não só para distinguir as diferentes exigências em termos de resistência ao fogo, mas também para diferenciar as exigências de transporte e montagem em obra. Assim, apresentam-se algumas sistematizações que realçam, através das designações, o critério massa, sem necessariamente o reportarem às características de segurança ao fogo.

Em “Habitar sob uma segunda pele” (Mendonça, 2005), os sistemas de fachada surgem descritos no subcapítulo referente aos componentes da “envolvente exterior opaca leve”, que surge por oposição à “envolvente exterior opaca pesada” (peso próprio superior a 150 kg/m²): 1) panos simples; 2) painéis (paredes multi-camadas); 2a) painel sanduiche simples; 2b) painel sanduiche triplo (com caixa de ar ventilada). Para o caso da Madeira, o autor (Mendonça, 2005, pp. 4-20) faz a distinção entre: 1) paredes maciças (paredes de troncos), descritas como paredes pouco comuns em climas temperados devido à ausência de massa térmica e apresentando dificuldades em termos de resistência mecânica e estanquicidade; 2) paredes compostas (“sistemas de reforço estrutural”) em que a estrutura é diferenciada do material de fechamento (geralmente no interior). Os sistemas de “reforço estrutural” das paredes, são identificados com as gaiolas, distinguindo-se entre os sistemas de gaiolas anteriores ao século XIX (pesados) e os actuais (leves); 3) gaiolas de grande secção (sistema de reticulado pesado) é descrito como o sistema utilizado no Ocidente em todas as construções de madeira até ao século XIX e início do século XX e que, foi utilizado na reconstrução da Baixa Pombalina de Lisboa. Em Portugal, os intervalos livres entre a madeira, eram preenchidos com adobe, tijolo ou pedra, constituindo os já referidos tabique e frontal; 4) gaiolas leves (“*light framing*” subdivididas nos dois tipos “*balloon*” e “*platform*”) são descritas como tendo origem no sistema de gaiolas pesadas, mas tendo por base peças mais

ligeiras que compõem planos de parede estrutural que se suportam pela disposição em configurações de planos ortogonais. Esta é descrita como a solução que se revela mais económica, ainda que por si só não seja eficiente do ponto de vista acústico e térmico, essencialmente pela falta de massa, pelo que a introdução de isolamentos é necessária.

No sítio do CNDB (Comité National pour le Développement du Bois) (CNDB, 2012) apresentam-se 5 sistemas construtivos: 1) “*ossature légère*” (sistema aligeirado); 1a) “*balloon frame*”; 1b) “*plateforme frame*”; 2) “*poteaux-poutres*” (pilar viga); 3) “*madriers*” (toros); 4) “*colombage*” (gaiola); 5) “*panneux de bois massif*” (painéis de madeira maciça).

Em “Construction de maisons à ossature bois” (Benoit & Paradis, 2008) dedicado à concepção de casas do tipo “*plate-forme*”, descrevem-se os diferentes tipos de casas de estrutura em madeira: 1) “*constructions en bois massif*”; 1a) “*constructions en rondins ou en madriers assemblés à mi-bois*”; 2) “*constructions en panneaux massifs*”; 3) “*constructions à ossature bois*”; 3a) “*maisons à colombage par la méthode des bois longs*” (reservada à reabilitação); 3b) “*maisons à colombage par la méthode des bois courts*”; 3c) “*Constructions à ossature croisée*” (“*ballon frame*”); 3d) “*ossature plate-forme*”; 3e) “*poteaux-poutre*”.

Como anexo ao texto “El futuro de la construcción con madera”, (Roselló, 2001) resumem-se os sistemas do seguinte modo: 1) “*entramado pesado*” (“*heavy timber*”) e 2) “*entramado ligero*” (“*light framing*”). O entramado pesado subdivide-se em: 1a) “*entramado*” (“*timber frame*”); 1b) “*adintelado, arquivado o aporticado*” (“*post and beam*”). Neste último encontram-se: 1b1) “*jácnas apoiadas sobre pilares en edificios de una planta*”; 1b2) “*jácnas passantes apoiadas sobre pilares en edificios de dos plantas*”; 1b3) “*pilares passantes*”; 1b4) “*jácnas dobles y pilares passantes*”; 1b5) “*pilares dobles*” (ou *quadruples*) *contínuos e jácnas passantes*. O “*entramado ligero*” subdivide-se em: 2a) “*tipo globo*” (“*balloon frame*”) e 2b) “*tipo plataforma*” (“*platform frame*”).

Em “Time-saver standards for architectural design data” (Watson, Crosbie, & Callender, 1999) na definição dos tipos de construção da superestrutura dos edifícios, referem-se a “*lightwood framing*” (“*platform frame*” e “*balloon frame*”) e a “*heavy timber framing*” (ou “*post and beam*”), apontando-se ainda o caso do sistema “*plank and beam*”, no qual as pranchas de pavimento têm uma função estrutural conjunta com os pórticos da estrutura). Finalmente é ainda descrita a construção do tipo “*stressed skin panel*” (com os painéis em contrapalcado e vigas, montantes e vigotas (*joists, rafters or studs*)).

Em “Fundamentals of Building” (Allen & Iano, 2008, p. 127) apresentam-se os dois sistemas “*heavy timber frame*” e “*wood light frame*” como sendo os dois sistemas actualmente dominantes. Nesta obra referem-se os vários componentes e elementos estruturais (“*trusses, wood I-Joists, panel componentes*”) onde se mencionam os SIPs (“*structural Insultaed panels*”), os SSP (“*stressed skin panels*”) e os “*framed panels*”.

Em “Building construction - Principles, materials, and systems” (Metha, Scarborough, & Armpriest, 2011) o autor assume também o sistema “*wood light-frame*” como o dominante para a construção residencial e comercial (de dimensão média) nos EUA. Já o sistema “*heavy timber frame*” é mencionado como tendo sido o sistema dominante na construção antes da generalização do “*balloon frame*”. O autor considera existirem dois tipos de “*timber frame*”, que diferem na forma dos mecanismos de resistência às forças laterais: “*timber frame with exterior masonry wall*” e “*braced timber frame*”, com escoras entre pilares e vigas. O sistema de SIPs (“*strutural insulated panels*”) é considerado como sendo actualmente uma alternativa ao sistema “*wood Light frame*”.

V.A.9 CRITÉRIO DO PROCESSO

O autor de “Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente” (César, 2002) classifica aqueles que considera serem os três sistemas construtivos de madeira produzidos industrialmente, com maior relevância em várias regiões do Brasil, do seguinte modo: 1) sistema pilar-vigas, com vedação feita com tábuas verticais matajuntadas com ripas; 2) sistema de painel, composto de paredes estruturais em pranchas horizontais, com junção do tipo macho-fêmea, mais montantes e guias (CASEMA); 3) sistema plataforma, com ossatura em painel de madeira. O autor refere-se também à sistematização efectuada por INO (1992), classificando os sistemas estruturais segundo os métodos de pré-fabricação empregues:

“Esses métodos estão agrupados em quatro categorias, cuja sequência corresponde em grau de industrialização: construção em entramado ou em esqueleto; construção com painéis compostos; construção com placas maciças; construção com peças tridimensionais” (César, 2002).

Em “Construction technology - an illustrated introduction” (Fleming, 2005, p. 88) o autor apresenta os tipos de paredes em madeira (*“timber frame construction”*) diferenciando o tradicional *“timber frame”* do *“modern timber frame”*. No primeiro grupo engloba o *“balloon frame”* e o *“plataforma frame”*. No segundo considera basicamente a lógica do *“plataform frame”*, mas sob a forma de painéis.

Lopes (2006) apresenta uma classificação que tipifica as estruturas com base em critérios diferenciados, mas evidenciando o processo: tecnologia tradicional (madeira maciça, taipas estruturais); estrutura leve (*balloon frame* e *platform frame*); estrutura porticada (viga dupla, pilar duplo, pilar-viga; pilares-altura de andar); estruturas pré-fabricadas (painéis grandes dimensões, painéis pequenas dimensões, módulos tridimensionais).

V.A.10 CRITÉRIO DIMENSÃO DOS ELEMENTOS

É um critério que dentro de um mesmo tipo de sistema distingue o grau de pré-fabricação dos componentes. Maiores elementos implicam menor trabalho em obra, menos juntas e ligações, mas também maiores exigências quanto aos equipamentos de transporte e colocação em obra.

(Premrov, 2008) afirma que os dois sistemas de construção em madeira mais comuns (que designa como *“timber frame systems”*) são o sistema *“post and beam”* e o *“timber frame panel system”*. Descreve depois sucintamente os dois sistemas, utilizando o critério dimensão para classificar o segundo sistema: 1) *“post-and-beam”* (pilares e vigas); 2) *“timber frame panel system”* (consiste numa armação estrutural e painéis de madeira): 2a) *“micro-panel wall system”*, descrito como um sistema de paredes em “micro-painel” (com elementos de parede com três montantes); e 2b) *“macro-panel wall system”*, descrito como um sistema de paredes em macro painel (grandes painéis pré-fabricados, incluindo vãos).

V.A.11 CRITÉRIO DO MATERIAL

Hopkin (2011) em “The fire performance of engineered timber products and systems” considera que as estruturas de madeira, depois da classificação em função do critério peso: *“heavy timber frame”* e *“light timber frame”* (pesadas e leves), devem ser agrupadas em função do critério “material”. Distinguem-se assim as estruturas formadas por secção de madeira maciça das realizadas com recurso a “compostos de madeira”.

V.A.12 AMBIGUIDADES

Num grupo de um fórum internacional de discussão, para profissionais da construção em madeira, surgiu um tópico de discussão sobre a terminologia dos sistemas construtivos em madeira (Pickartz, 2012). Pretendia-se estabelecer a diferença entre a designação *“post and*

beam” e *timber frame*”. Pelo menos 13 profissionais deram a sua opinião deixando evidente a diferença de terminologia entre os EUA e o Reino Unido. Do lado dos EUA, considerou-se que o *“post and beam”* é uma designação genérica para sistemas em que as cargas verticais são pontuais e transportadas por componentes lineares independentemente do material utilizado. Segundo uma das versões, haveriam diversos tipos de *“post and beam”*, tendo-se por um lado o sistema mais qualificada que corresponderia ao *“timber frame”* composto de elementos de madeira serrada (*“timbers”*) e por outro lado as *“pole structures”* compostas de pilares de secção redonda (*“logs”*). Segundo outra opinião entende-se que o *“post and beam”* é um tipo de sistema e o *“timber frame”* é outro completamente diferente. O primeiro seria mais recente e diferenciado do primeiro pelo tipo de ligações. Consensualmente, por parte dos profissionais americanos, *“timber frame”* seria um termo específico para designar um tipo de construção em que as ligações são tradicionais e sem recurso, na maior parte, a ligadores metálicos entre os componentes. Para além disso, foi também referido que o sistema *“timber frame”* é composto por pórticos paralelos, onde em cada pórtico o vão estrutural tem uma dimensão superior à distância entre dois pórticos paralelos. Ou seja, distingue-se o *“post and beam”* do *“timber frame”*, tanto pelo tipo de ligações como pela aparência mais industrial do primeiro e mais tradicional do segundo. Nos EUA, não haveria portanto qualquer relação entre *“timber frame”* e os sistemas de reticulados leves ou de painéis reticulados (que se designam por *“platform frame”*, *“wood frame”*, *“light framing”*, *“stick framing”* ou *“conventional framing”*), como parece acontecer no Reino Unido. No Reino Unido, *“timber frame”* e *“post and beam”* são também sistemas completamente diferentes, mas *“post and beam”* é considerado o sistema genérico de pilares e vigas enquanto o *“timber frame”* é considerado o sistema de reticulados leves, seja do tipo *“platform frame”*, montado em obra, seja do tipo painel, produzido em fábrica. O *“timber frame”* é também um termo aceite para designar em geral qualquer estrutura de madeira. Verificou-se no entanto que mesmo no Reino Unido não haveria consenso uma vez que um dos profissionais considerou que *“timber frame”*, embora seja hoje um termo genérico, foi sempre utilizado para designar os sistemas tradicionais com madeira de Carvalho tipo *“half timbered”*. Esta última visão corresponde de algum modo à classificação de Kolb (2008) que no seu manual *“Systems in timber engineering”* associa a designação *“timber frame”* à construção tradicional com reticulados pesados do tipo gaiola.

Parece, em conclusão, que na perspectiva dos EUA, *“post and beam”* designa genericamente os sistemas porticados, enquanto *“timber frame”* corresponderia a um sistema porticado específico de pórticos paralelos (*“bents”*) com ligações tradicionais. Na perspectiva do Reino Unido, *“post and beam”* teria a mesma aceção que nos EUA, mas *“timber frame”*, seria mais utilizado para designar os sistemas de painéis reticulados ou de reticulados tipo *“platform frame”*. Benfield (Timber in timber framing, 2011), confirma esta tese referindo que no Reino Unido *“timber framing”* designa o sistema construtivo dos edifícios com painéis projectados como estruturas de *“platform frame”* e que constituem tanto o paramento interno das paredes exteriores (normalmente de tijolo) como a estrutura de madeira interior das paredes interiores divisórias.

V.A.13 TERMINOLOGIAS EM PORTUGUÊS

O LNEC apresenta na sua página (LNEC, 2012) sobre os Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG) diversas traduções que proporcionam designações seguras. Traduz-se *“timber frame building kits”* (EOTA, 2001) para *“kits para edifícios prefabricados com estrutura reticulada de madeira”*. Neste caso estão abrangidos os kits executados em componentes pré-fabricados vocacionados para produção em série e prontos para serem comercializados como um conjunto (elementos estruturais, envolvente exterior, paredes interiores e pré

instalação das restantes infraestruturas). Nesta ETAG, define-se *“timber frame building”* como uma construção em que os membros estruturais são componentes do tipo *“studs, joists, rafters”* executados em madeira maciça ou derivados de madeira. *“Light composite wood-based beams and columns”* (EOTA, 2002a) é traduzido para “vigas e pilares aligeirados compósitos com base em madeira”. *“Log building kits”* (EOTA, 2002) traduz-se para “kits para edifícios de toros de madeira”. Finalmente, *“prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels”* (EOTA, 2004) traduz-se para “painéis prefabricados resistentes com forros de derivados de madeira”. Nesta definição estão abrangidos os painéis de placas simples ou duplas, com madeira ou materiais derivados de madeira, com ou sem reforço interior, com ou sem isolamento interior, e com ou sem uma barreira de controlo de vapor.

Na tese “Sistemas construtivos modernos em madeira” (Torres, 2010) recorre-se à seguinte classificação: 1) casas de troncos; 2) estrutura em madeira pesada; 2.1) porticado-*“post&beam”*; 2.2) entramado - *“timber frame”*; 3) estrutura em madeira leve; 3.1) estrutura em balão - *“balloon frame”*; 3.2) estrutura em plataforma - *“platform frame”*; 4) estrutura pré-fabricada à base de módulos; 4.1) módulos de pequenas dimensões; 4.2) módulos de grandes dimensões; 4.3) módulos tridimensionais).

A tese “Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal” (Almeida, 2010) classifica os sistemas de construção de madeira para habitação do seguinte modo: 1) construção maciça; 1.1) toros; 1.2) painéis de madeira maciça lamelada; 2) pilar-viga; 3) sistema aligeirado em plataforma (*“light framing”*). Ao descrever o historial do sistema *“platform light framing”* ou *“western framing”*, o autor menciona o *“braced-framing”*, o *“balloon framing”* e o *“modern braced framing”*.

Na tese “Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal” (Ferreira, 2009) considera os seguintes sistemas construtivos em madeira: 1) sistemas de painéis maciços de fachada; 2) construção industrializada leve em painéis de madeira; 3) construção industrializada em toros de madeira.

Na tese “Construção em Madeira - Exigências para a Certificação Energética” o autor (Jerónimo, 2009) apresenta os sistemas construtivos que na sua óptica mais se destacam: 1) sistema de prumos leves (*“balloon frame”* e plataforma); 2) construção em madeira maciça (toros); 3) madeira estrutural (incluindo-se neste tipo, tanto as soluções de elementos lineares como as de painéis).

Na tese “Comportamento térmico e acústico de pré-fabricados de madeira” (Santos A. , 2008, p. 9), sem aprofundar a caracterização dos sistemas refere-se a construções de troncos por um lado e habitações elaboradas com pranchas, por outro.

O livro “Arquitectura Madeira” (Asensio, 2005), apresenta na tradução portuguesa a distinção entre as seguintes formas de construção: cabana de madeira [toros]; armação pesada (porticados pilar viga); armação ligeira [reticulados leves] e madeira laminada [englobando as estruturas de grande vão].

Em “Sistemas de construção - III - Paredes (2ª parte) e materiais básicos (1ª parte)” (Mascarenhas, 2006) apresentam-se três tipos sistemas de paredes: 1) paredes com toros quadrados; 2) paredes com pranchas maciças; 3) paredes com caixa-de-ar e isolamento (tendo por base o sistema porticado).

Em “Caracterização da oferta de casas de madeira em Portugal” (Morgado & Pedro, 2011) elabora-se uma caracterização dos sistemas estruturais de madeira vocacionados para a habitação. Apresentam-se os seguintes: 1) sistema em toros de madeira; 2) sistema

aligeirado (incorporando ou não painéis leves); 3) sistema de painéis maciços; 4) sistema porticado; 5) sistema misto de painéis e pilares; 5a) sistema misto aligeirado e porticado; 5b) sistema misto de painéis em pranchas maciças.

A análise comparativa das designações dos sistemas construtivos em madeira, utilizadas por diversos autores nacionais evidencia por um lado a diversidade terminológica (cf. Tabela 20) e até alguma falta de clareza nos conceitos utilizados e por outro lado mostra como a construção em madeira tem ainda uma reduzida importância já que alguns dos sistemas construtivos acabam por ser omitidos nas descrições efectuadas (cf. Tabela 21).

Tabela 20 - Terminologias segundo vários autores nacionais.

	Torres	Almeida	Ferreira	Jerónimo	Mascarenhas	Morgado Pedro
Reticulados leves	3 - Estrutura em madeira leve 3.1 - Estrutura em balão - balloon frame; 3.2 - Estrutura em plataforma - platform frame)	3 - Sistema aligeirado em plataforma (light framing)		1 - Sistema de prumos leves ("balloon frame" e plataforma)		2) Sistema aligeirado (incorporando ou não painéis leves)
Porticados	2 - Estrutura em madeira pesada 2.1 - Porticado Post&beam; 2.2 - Entramado Timber frame	2 - Pilar-Viga		3 - Madeira estrutural	3 - Paredes com caixa-de-ar e isolamento (c/ base no sistema porticado).	4) Sistema porticado
Reticulados pesados						
Paredes leves					2 - Paredes com pranchas maciças	5) Sistema misto de painéis e pilares; 5b) Sistema misto de painéis em pranchas maciças.
Painéis leves			2 - Construção industrializada leve em painéis de madeira			2) Sistema aligeirado (incorporando ou não painéis leves)
Paredes pesadas	1 - Casas de troncos	1 - Construção maciça 1.1-Toros	3 - Construção industrializada em toros de madeira	2 - Construção em madeira maciça (toros)	1 - Paredes com toros quadrados	1) Sistema em toros de madeira
Painéis pesados		1 - Construção maciça 1.2 Painéis de madeira maciça lamelada	1 - Sistemas de painéis maciços de fachada	3 - Madeira estrutural		3) Sistema de painéis maciços
Módulos tridimensionais parciais	4 - Estrutura pré-fabricada à base de módulos 4.1 - de pequenas dimensões 4.2 - de grandes dimensões					
Módulos tridimensionais completos	4 - Estrutura pré-fabricada à base de 4.3 - Módulos tridimensionais).					
Sistemas mistos						5) Sistema misto de painéis e pilares; 5a) Sistema misto aligeirado e porticado.

Tabela 21 - Síntese dos sistemas construtivos abrangidos pelos vários autores nacionais.

	Torres	Almeida	Ferreira	Jerónimo	Mascarenhas	Morgado e Pedro
Reticulados leves						
Porticados						
Reticulados pesados						
Paredes leves						
Painéis leves						
Paredes pesadas						
Painéis pesados						
Módulos tridimensionais parciais						
Módulos tridimensionais completos						
Sistemas mistos						

VI MODELOS FORMAIS

VI.A Exemplos de tipos simbólicos

VI.A.1 TIPO TRADICIONAL INTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 216 - Villa Solaire / JKA + FUGA (<http://www.archdaily.com/289925/villa-solaire-jka-fuga-jka-fuga/>).

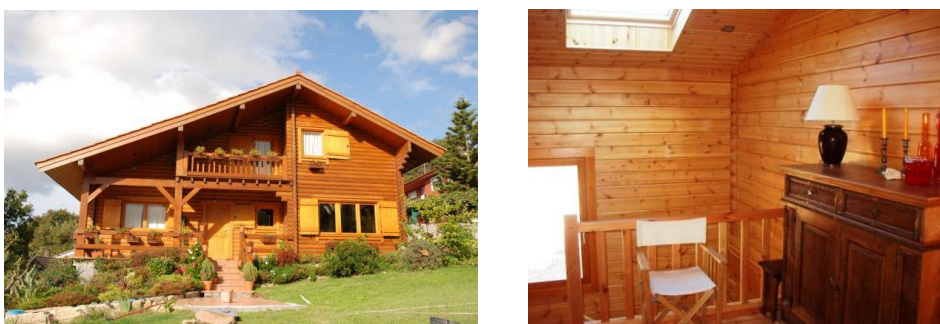


Fig. 217 - Nórdica Especial - Rusticasa

(http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=68%3Anordicaespecial&catid=18%3Atrancos&Itemid=2&lang=pt).

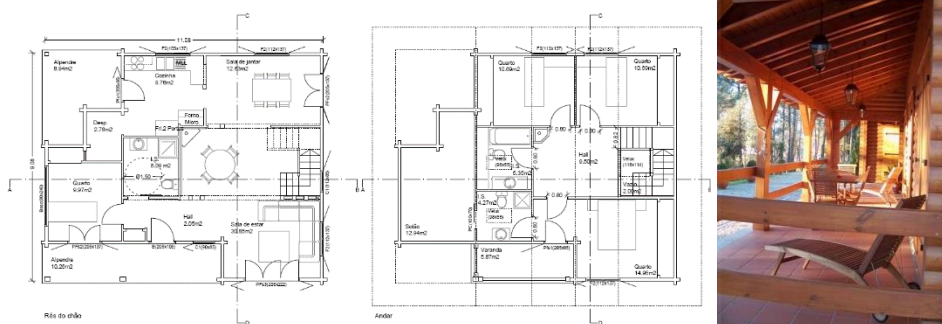


Fig. 218 - Planta Nórdica Especial e Galeria do modelo Montana 176 - Rusticasa

(http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=53&lang=pt).



Fig. 219 - Peak house - Honka (<http://www.honka.com/en/residential-houses>).

VI.A.2 TIPO TRADICIONAL INTROVERTIDO URBANO



Fig. 220 - Exterior e interior - Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch. Galeria de uma casa Svenskhomes (<http://www.timberhomeliving.com/nature-first/>) (<http://www.svenskhomes.co.uk/gallery>).



Fig. 221 - Plantas de uma casa Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch (<http://www.timberhomeliving.com/nature-first/>).



Fig. 222 - The McDonell II - Timber frame house plans (<http://www.timberframe-houseplans.com/house-plans/McDonell2.shtml>).



Fig. 223 - Eriksson - Svenskhomes (<http://www.svenskhomes.co.uk/eriksson#!prettyPhoto>).

VI.A.3 TIPO TRADICIONAL EXTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 224 - Teton Springs Pond - Precision Craft Log & Timber homes (<http://www.precisioncraft.com/photo-gallery/handcrafted-log-homes/teton-springs-log-home/tetonsprings-pond1/>).



Fig. 225 - Casas Honka, Canada (<http://www.honkacanada.com/galerie.html>).

VI.A.4 TIPO TRADICIONAL EXTROVERTIDO URBANO



Fig. 226 - Laburnum - Stommel Haus (http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/standard_houses/laburnum).



Fig. 227 - Stommel Haus (http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/morepictures).

VII.A.5 TIPO CONTEMPORÂNEO INTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 228 - Casa em Reckingen / Roman Hutter Architektur (<http://www.archdaily.com/337854/house-in-reckingen-roman-hutter-architektur/>).

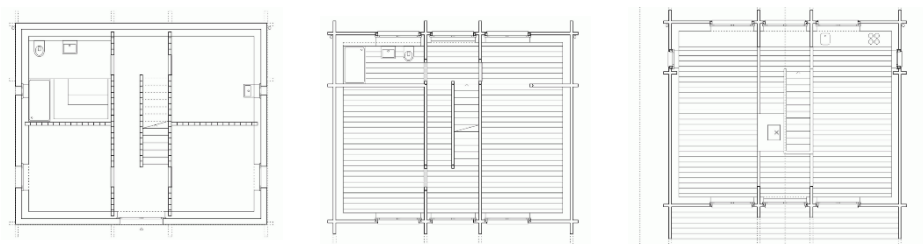


Fig. 229 - Casa em Reckingen / Roman Hutter Architektur (<http://www.archdaily.com/337854/house-in-reckingen-roman-hutter-architektur/>).



Fig. 230 - Chalet em Les Diablerets / Charles Pictet Architecte (<http://www.archdaily.com/324646/chalet-in-les-diablerets-charles-pictet-architecte/>).



Fig. 231 - Casa de Verão em Southern Burgenland - Judith Benzer Architektur (<http://europaconcorsi.com/projects/200223-Summer-House-in-Southern-Burgenland>); Fig. 232 - Turismo rural em Montalegre / Nuno Flores + Sofia Neves (<http://www.archdaily.com/278135/rural-tourism-in-montalegre-nuno-flores-sofia-neves/>).



Fig. 233 - Alt 1374 - Nax / Lx1 Architecture (<http://www.archdaily.com/271631/alt-1374-nax-lx1-architecture/>).

VI.A.6 TIPO CONTEMPORÂNEO INTROVERTIDO URBANO



Fig. 234 - Casa Karlsson - Tham & Videgård Arkitekter (<http://www.archdaily.com/39602/house-karlsson-tham-videgard-hansson>).



Fig. 235 - G house / Lode Architecture (<http://www.archdaily.com/337459/g-house-lode-architecture/>).



Fig. 236 - Haus BRU 1.25 / SoHo Architektur (<http://www.archdaily.com/277291/haus-bru-1-25-soho-architektur/>).



Fig. 237 - House VI / NKS Architects (<http://www.archdaily.com/301067/house-vi-nks-architects/>).

VI.A.7 TIPO CONTEMPORÂNEO EXTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 238 - Maison 2G / Avenier Cornejo Architectes (<http://www.archdaily.com/301339/maison-2g-avenier-cornejo-architectes/>).



Fig. 239 - Plentzia 79 Bizkaia - AV62 Arquitectos (<http://www.av62arquitectos.com/en/projects/plentzia-79-bizkaia-3-165-fotos>).



Fig. 240 - Skyward House / acaa (<http://www.archdaily.com/346185/skyward-house-acaa/>).



Fig. 241 - Twisted House / JVA (<http://www.archdaily.com/277239/twisted-house-jva/>).

VI.A.8 TIPO CONTEMPORÂNEO EXTROVERTIDO URBANO



Fig. 242 - ART 3 sample - Huf Haus (<http://www.huf-haus.com/en/the-huf-house/individual-designs/sample-project-art-3.htmlem>).



Fig. 243 - A-Frame ReThink / Bromley Caldari Architects (<http://www.archdaily.com/638862/a-frame-rethink-bromley-caldari-architects>); Fig. 244 - Casa em Hirvensalmi, Finland (<http://www.archdaily.com/496304/kettukallio-playa-architects>).

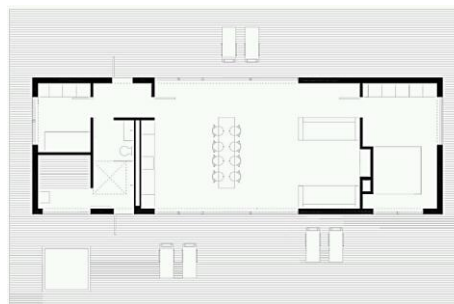


Fig. 245 - Villa Wallin / Erik Andersson Architects (<http://www.archdaily.com/366357/villa-wallin-erik-andersson-architects>).



Fig. 246 - La Grange de Mon Père / MJ Architectes (<http://www.archdaily.com/292657/la-grange-de-mon-pere-mj-architectes>).

VI.A.9 TIPO MODERNO INTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 247 - Casa 205 - H Architectes (<http://europaconcorsi.com/projects/83474-Casa-205>).



Fig. 248 - J-T House - JURI TROY Architects (<http://europaconcorsi.com/projects/228545-J-T-House>).



Fig. 249 - T-House / Satoru Ito Architects (<http://www.archdaily.com/290158/t-house-satoru-ito-architects/>).



Fig. 250 - Casa Honka em Rhône Alpes (<http://www.honka.com/en/residential-houses>).

VI.A.10 TIPO MODERNO INTROVERTIDO URBANO



Fig. 251 - Low Energy Timber House / AST 77 Architecten (<http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/>).



Fig. 252 - Low Energy Timber House / AST 77 Architecten (<http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/>).



Fig. 253 - Mascara House / mA-style architects (<http://www.archdaily.com/289248/mascara-house-ma-style-architects/>).



Fig. 254 - House in Mejirodai / Mejiro Studio + Kozo Kadowaki (<http://www.archdaily.com/291966/house-in-mejirodai-mejiro-studio-kozo-kadowaki/>).

VI.A.11 TIPO MODERNO EXTROVERTIDO RÚSTICO



Fig. 255 - São Francisco Xavier - Nitsche (http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id_projeto=57&ant=57&si=920383666).



Fig. 256 - Sam's Creek / Bates Masi Architects (<http://www.archdaily.com/325359/sams-creek-bates-masi-architects/>).

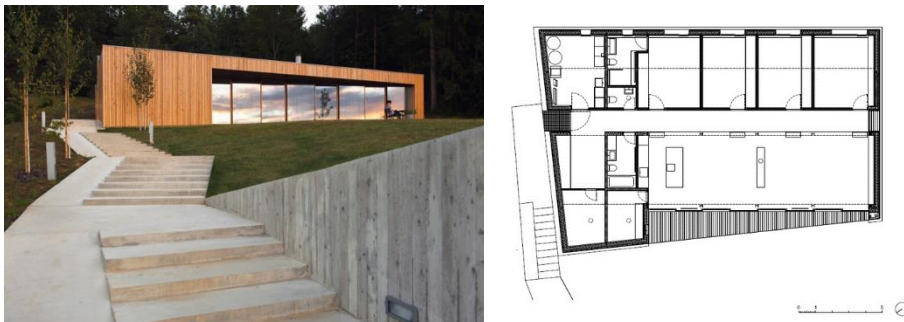


Fig. 257 - Casa MJ / Kombinat (<http://www.archdaily.com/294800/house-mj-kombinat/>).



Fig. 258 - La Luge / YH2 Architecture (<http://www.archdaily.com/275993/la-luge-yh2-architecture/>).

VI.A.12 TIPO MODERNO EXTROVERTIDO URBANO



Fig. 259 - Residence in Keisen / Masao Yahagi Architects (<http://www.archdaily.com/336289/residence-in-keisen-masao-yahagi-architects/>).



Fig. 260 - Casa em Cromwell, New Zealand Architects: Team Green Architects (<http://www.archdaily.com/556162/olive-grove-house-team-green-architects>).



Fig. 261 - Huf House (<http://m.huf-haus.com/index.php?id=1137&L=1>).; Fig. 262 - Lockwood plans New Zealand (<http://www.lockwood.co.nz/ModernHomeBuildingPlans/tabid/103/agentType/View/PropertyID/228/Default.aspx>)



Fig. 263 - Huf House Lugano (<http://www.huf-haus.com/en/italy/lugano/downloadsection-art-f.html>).

VI.A.13 TIPOS COMPLEXOS: ORGÂNICOS, EXPRESSIONISTAS, RACIONAIS



Fig. 264 - Tipo Orgânico - Dragspelhuset - 24H Architecture (<http://www.archello.com/en/project/dragspelhuset>).

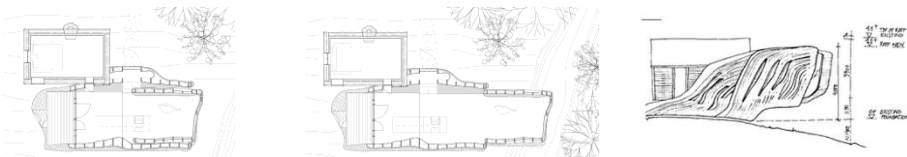


Fig. 265 - Dragspelhuset - 24H Architecture (<http://www.archinnovations.com/featured-projects/houses/24h-architecture-dragspelhuset/>).



Fig. 266 - Tipo Expressionista - Cube House - Plasma Studio (<http://www.archdaily.com/412621/cube-house-plasma-studio>).

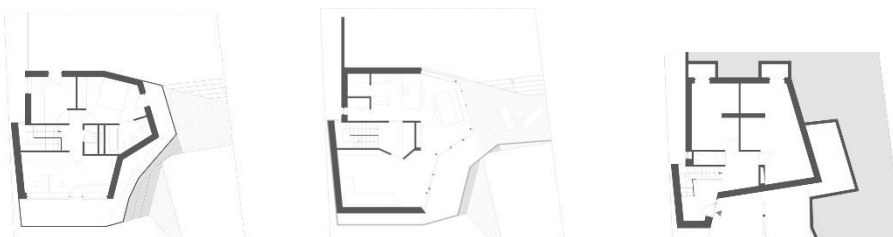


Fig. 267 - Cube House - Plasma Studio (<http://europaconcorsi.com/projects/124644-Cube-House>).



Fig. 268 - Tipo Racional - Domespace Harmonique 8,71 e Harmonique 7,20 (<http://www.domespace.com/fr/photos>).

VI.B Exemplos de tipos funcionais - Capacidade

VI.B.1 TIPOS T0 E T1

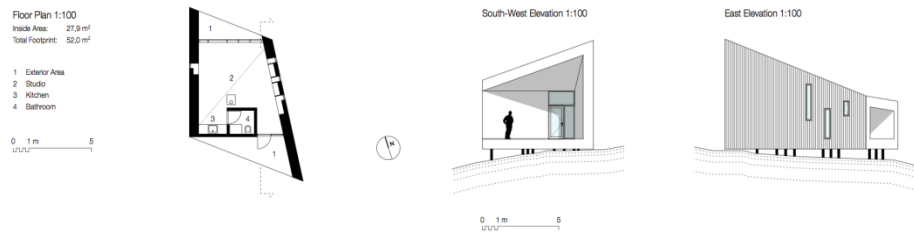


Fig. 269 - Squish Studio - Saunders Architecture (<http://europaconcorsi.com/projects/197812-Squish-Studio>).

VI.B.2 TIPOS T2 E T3

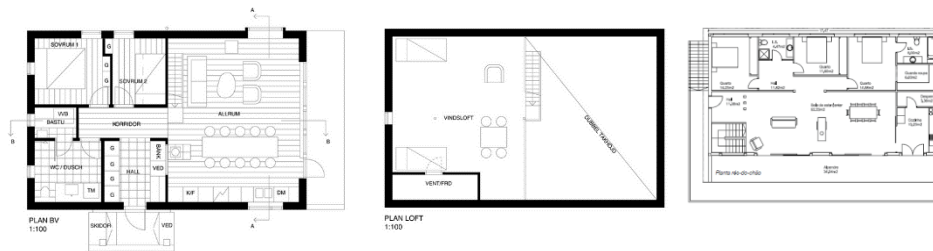


Fig. 270 - Fjällhus Residence / PS Arkitektur (<http://www.archdaily.com/11585/fjallhus-residence-ps-arkitektur/>); Fig. 271 - Post & Beam Mar - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt).

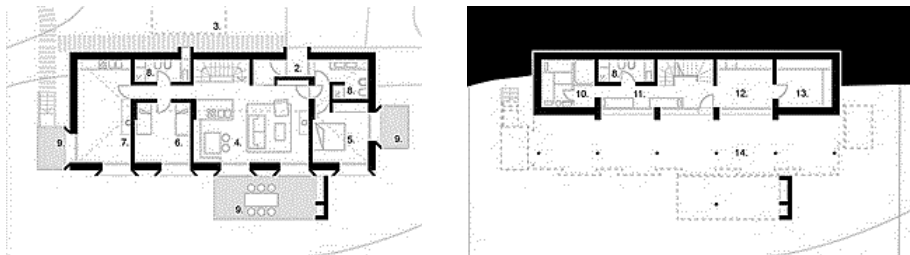


Fig. 272 - GP Casa in Montagna - Geza (<http://europaconcorsi.com/projects/181042-GP-Casa-in-montagna>).

VI.B.3 TIPOS T4 E SUPERIOR

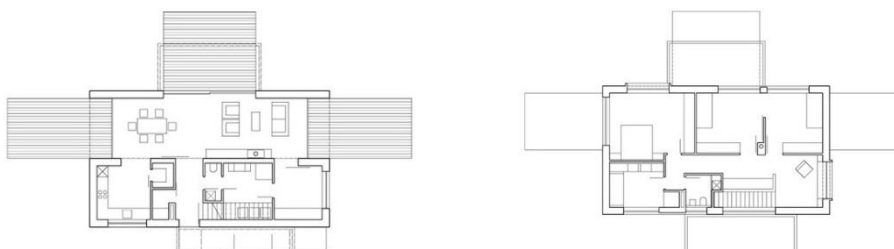


Fig. 273 - Humilec family house - Mimosa Architekti (<http://europaconcorsi.com/projects/143212-Bohumilec-family-house>).

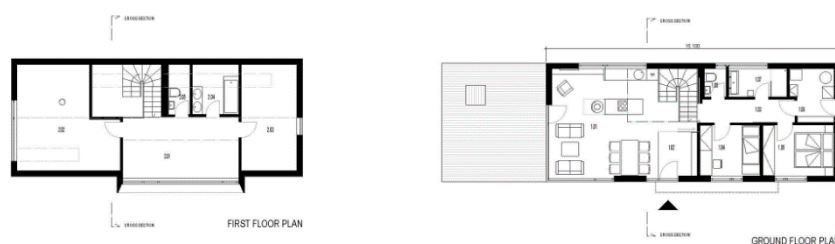


Fig. 274 - Roprachice House / PRODESI (<http://www.archdaily.com/352481/roprachice-house-prodesi/>).

VI.C Exemplos de tipos funcionais - Morfologia

VI.C.1 TIPOS DE 1 PISO

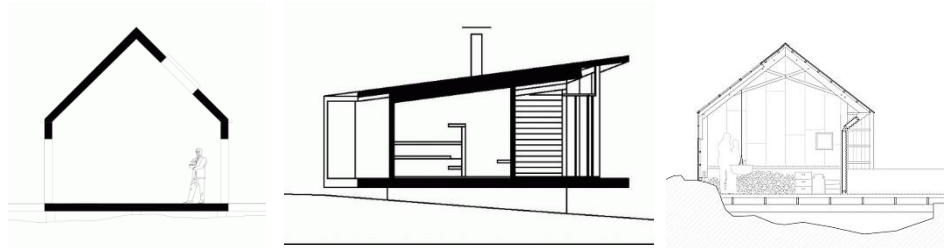


Fig. 275 - Villa Wallin / Erik Andersson Architects (<http://www.archdaily.com/366357/villa-wallin-erik-andersson-architects/>); Fig. 276 - Villa Valtanen / Arkkitehtitoimisto Louekari (<http://www.archdaily.com/325553/villa-valtanen-arkkitehtitoimisto-louekari/>); Fig. 277 - Boathouse - Tyin Tegnesteu Architects (<http://europaconcorsi.com/projects/194208-Boathouse>).

VI.C.2 TIPOS DE 1 PISO E CAVE



Fig. 278 - GP Casa in Montagna (<http://europaconcorsi.com/projects/181042-GP-Casa-in-montagna>).

VI.C.3 TIPOS DE 2 PISOS E 2 PISOS COM CAVE

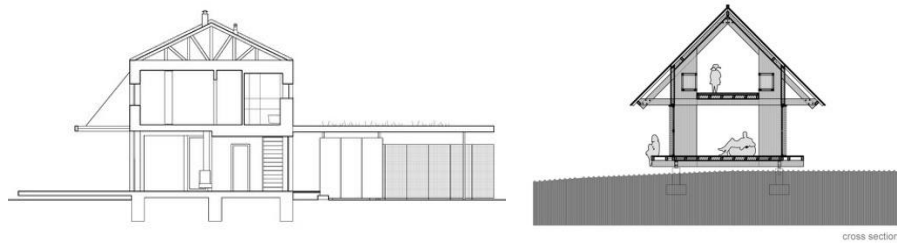


Fig. 279 - Bohumilec family house - Mimosa Architekti (<http://europaconcorsi.com/projects/143212-Bohumilec-family-house>); Fig. 280 - A House in the Fields - Jean Baptiste Barache, Sihem Lamine, Barache/Lamine Architects (<http://europaconcorsi.com/projects/91828-A-House-in-the-Fields>).

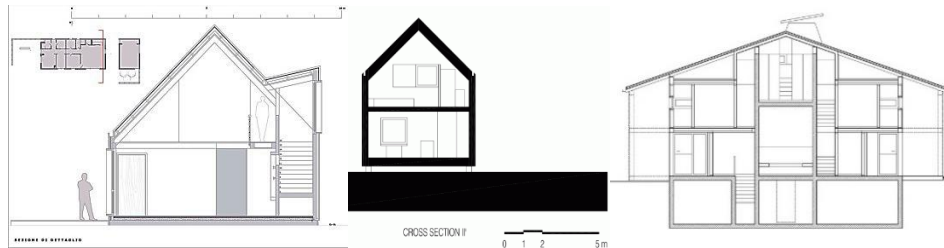


Fig. 281 - Casa C. - FGP STUDIO (<http://europaconcorsi.com/projects/4340-Casa-C->); Fig. 282 - G house / Lode Architecture (<http://www.archdaily.com/337459/g-house-lode-architecture/>); Fig. 283 - Chalet in Les Diablerets - Charles Pictet (<http://europaconcorsi.com/projects/221367-Chalet-in-Les-Diablers>).

VI.C.4 TIPOS DE 3 PISOS E 3 PISOS COM CAVE

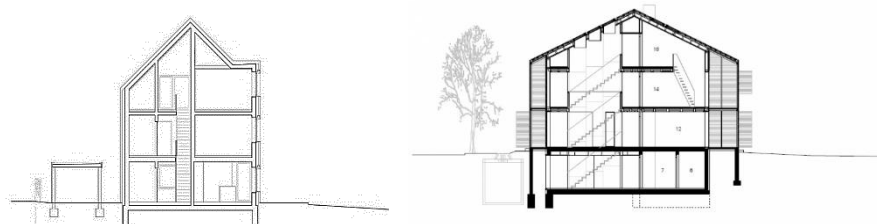


Fig. 284 - Haus Hesse - Wildrich Hien Architekten (<http://europaconcorsi.com/projects/219649-Haus-Hesse>); Fig. 285 - House K - Becker Architekten (<http://www.archdaily.com/354818/house-k-becker-architekten/>).

VI.D Exemplos de tipos espaciais - Planimetria

VI.D.1 PLANTA TRIANGULAR

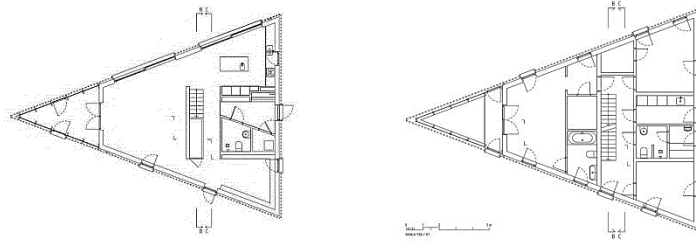


Fig. 286 - Garden House - Tham & Videgård Arkitekter (<http://housevariety.blogspot.pt/2010/11/garden-house-by-tham-videgard.html#.UYE0uaJwqM0>).

VI.D.2 PLANTA QUADRADA

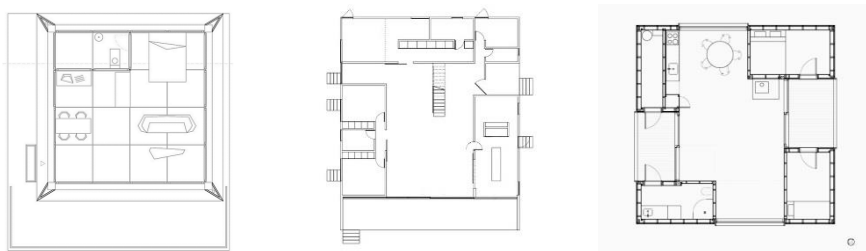


Fig. 287 - Mima House - Mima Architects (<http://www.divisare.com/projects/185038-Mima-Architects-Mima-House>); Fig. 288 - Casa Santa Julia - Emilio Marin, Juan Carlos Lopez (<http://europaconcorsi.com/projects/200827-Casa-Santa-Julia>); Fig. 289 - Casa de Verão em Stocolm archipelago - Tham & Videgard Arkitekter (<http://www.tvark.se/soderora/>).

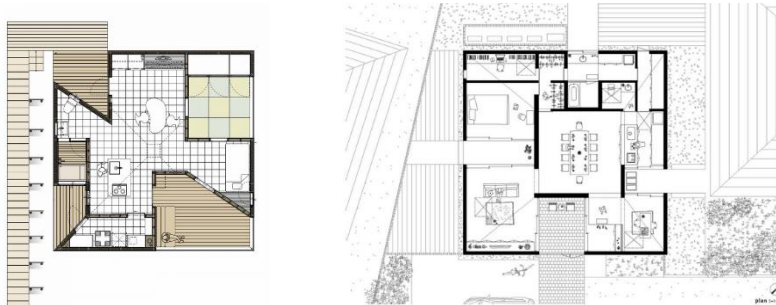


Fig. 290 - Casa Yagiyama / Kazuya Saito Architects (<http://www.archdaily.com/292988/house-yagiyama-kazuya-saito-architects/>); Fig. 291 - Skyward House / acaa (<http://www.archdaily.com/292988/house-yagiyama-kazuya-saito-architects/>).

VI.D.3 PLANTA EM OUTROS POLÍGONOS REGULARES

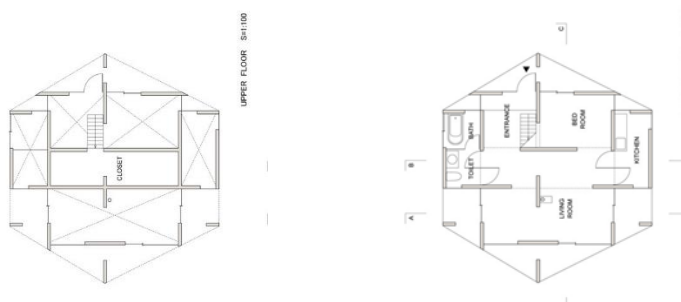


Fig. 292 - W-House / Uchida Architect Design Office (<http://www.archdaily.com/361396/w-house-uchida-architect-design-office/>).

VI.D.4 PLANTA RECTANGULAR

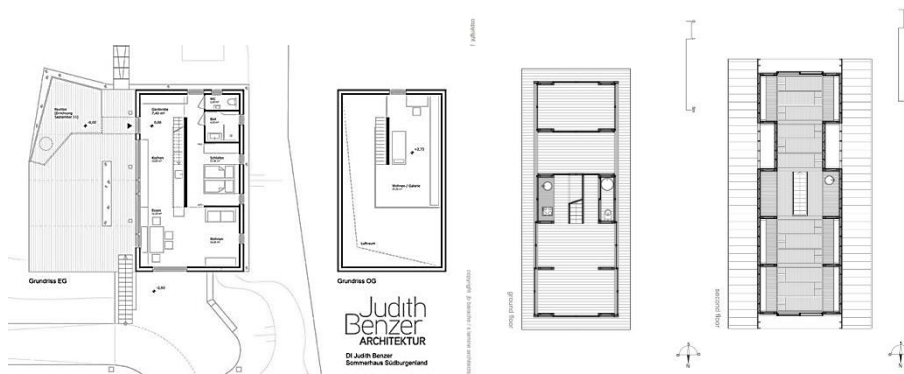


Fig. 293 - Casa de Verão em Southern Burgenland - Judith Benzer Architektur (<http://europaconcorsi.com/projects/200223-Summer-House-in-Southern-Burgenland>); Fig. 294 - A House in the Fields - Jean Baptiste Barache, Sihem Lamine, Barache/Lamine Architects (<http://europaconcorsi.com/projects/91828-A-House-in-the-Fields>).

Planta em L

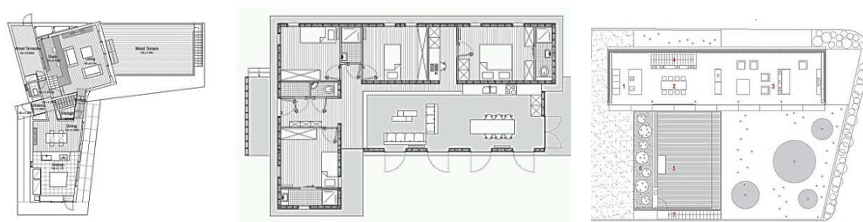


Fig. 295 - Les Aventuriers - Shun Hirayama (<http://freshome.com/2010/03/09/imposing-residence-from-shun-hirayama-architecture-%E2%80%99Cles-aventuriers%E2%80%99D/>); Fig. 296 - Low Energy Timber House - AST 77 Architekten (<http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/>); Fig. 297 - House S/b - Bevk Perovic Arhitekti (<http://europaconcorsi.com/projects/17657-House-S-b>).

VI.D.5 PLANTA EM Z

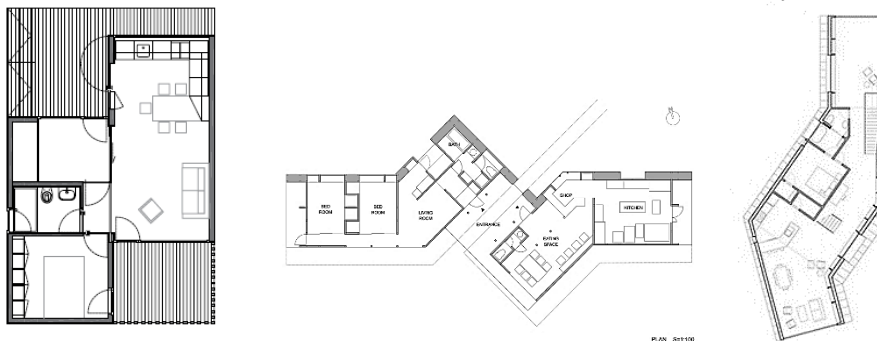


Fig. 298 - Treehouse Riga T1+1 - Jular (<http://www.jular.pt/pdf/Treehouse-casas-modulares-madeira-2011.pdf>); Fig. 299 - Brownie - Uchida Architect Design Office (<http://www.archdaily.com/359955/brownie-uchida-architect-design-office/>); Fig. 300 - Vacation House - William O'Brien Jr (<http://www.trendir.com/house-design/vacation-house-plans-a-frame.html>).

VI.D.6 PLANTA EM T

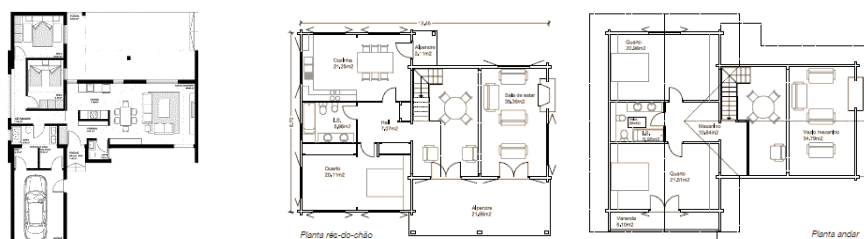


Fig. 301 - Casa MH95 - 100x100 Madera (<http://www.casas-madera-madrid.net/casas-de-diseno/disenos-100x100-madera/>); Fig. 302 - Rustica 203 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt).

VI.D.7 PLANTA EM CRUZ



Fig. 303- Four-cornered villa - Avanto Arch. (<http://europaconcorsi.com/projects/215793-Four-cornered-villa>); Fig. 304- Casa em Hanoura - Fujiwarramuro Arch. (<http://www.archdaily.com/345779/house-in-hanoura-fujiwarramuro-architects/>); Fig. 305- Guesthouse - HHF Arch+Ai Weiwei (<http://www.archdaily.com/267635/guesthouse-hhf-architects-ai-weiwei/>).

Planta em U



Fig. 306 - Plan Kit Maison Bois Massif ou Ossature Modele PIN - Maison Eco Malin (http://www.maison-eco-malin.com/Pages/plan_maison_bois_plans_maisons_bois_grand_piquey.aspx); Fig. 307 - U Shaped Home With Unique Floor Plan - Builder House plans (<http://www.builderhouseplans.com/u-shaped-home-with-unique-floor-plan/pid/114090787>); Fig. 308 - Plan 811 - Princeton Plans Press (http://www.pplans.com/store/cart.php?m=product_detail&p=817).

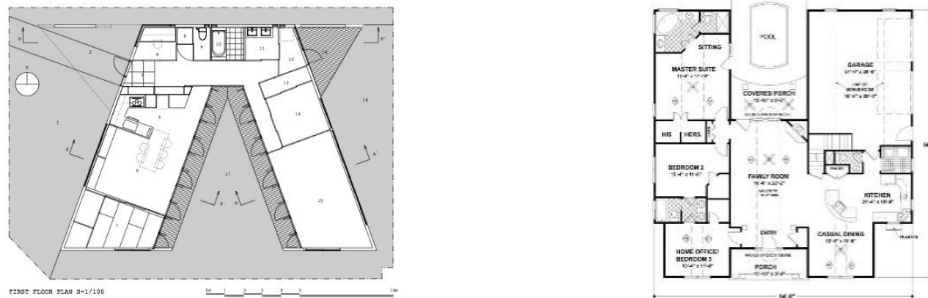


Fig. 309 - Residence in Keisen - Masao Yahagi Architects (<http://www.archdaily.com/336289/residence-in-keisen-masao-yahagi-architects/>); Fig. 310 - Plan No.278171 - West Home planners (<http://www.westhomeplanners.com/House-Plan-1308.html>).

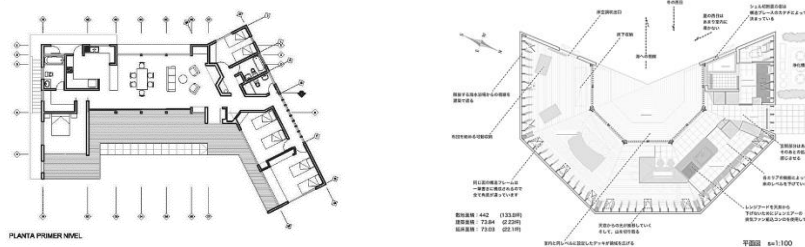


Fig. 311 - Maldonado House / Matías Silva Aldunate Architect (<http://www.archdaily.com/308669/maldonado-house-matias-silva-aldunate-architect/>); Fig. 312 - Seashore Shell House / Takeshi Hirobe Architects (<http://www.archdaily.com/308070/seashore-shell-house-takeshi-hirobe-architects/>).

Planta em H

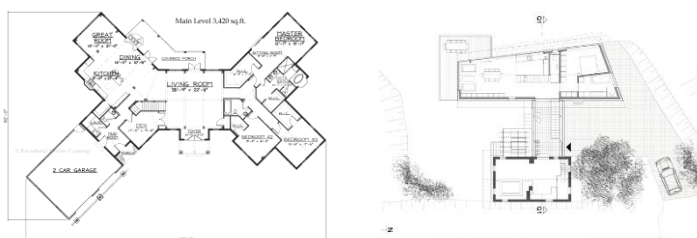


Fig. 313 - Edgewood design - Riverbend Timber framing (<http://www.riverbendtf.com/floorplans/edgewood.html>); Fig. 314 - Haus am Steinberg / HoG Architektur (<http://www.archdaily.com/325329/haus-am-steinberg-hog-architektur/>).

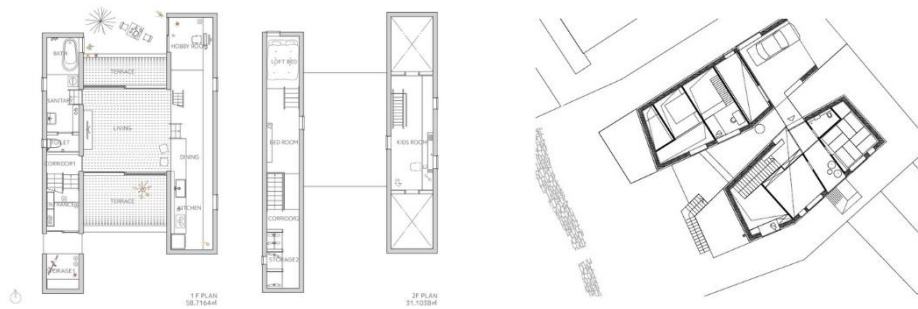


Fig. 315 - Mascara House / mA-style architects (<http://www.archdaily.com/289248/mascara-house-ma-style-architects/>); Fig. 316 - House 2y / Destilat (<http://www.archdaily.com/291243/house-2y-destilat/>).

Circular / Oval, Sector Circular

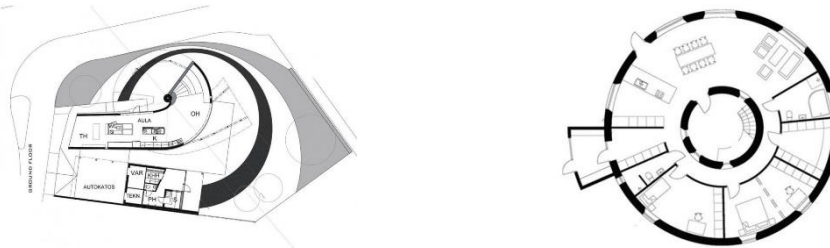


Fig. 317 - Spiral House - Olavi Koponen (<http://www.trendir.com/house-design/strange-spiral-seashell-house-in-finland.html#more>); Fig. 318 - Swedish eco-home - Kjellgren Kaminsky (<http://www.trendir.com/house-design/passive-house-plans-swedish-eco-home.html>).

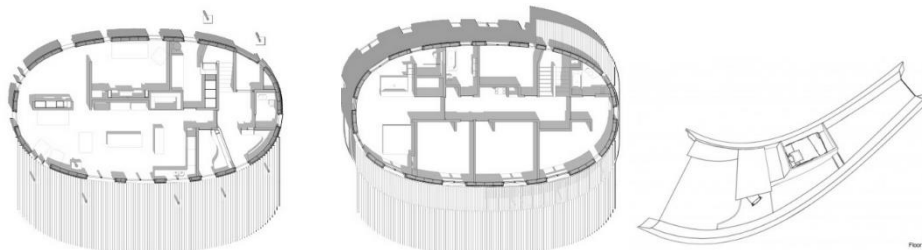


Fig. 319 - Tree Hut / Barnaby Gunning Architects (<http://www.archdaily.com/287787/tree-hut-barnaby-gunning-architects/>); Fig. 320 - Hus-1 - Torsten Ottesjö (<http://www.homedsgn.com/2012/06/18/hus-1-by-torsten-ottesjo/>).

VI.D.8 EM PÁTIO



Fig. 321 - House of Would / Elii (<http://www.archdaily.com/323302/house-of-would-elii/>); Fig. 322 - PTL House in Kanagawa - Satoru Hirota (<http://www.architecturelist.com/2012/03/02/ptl-house-in-kanagawajapan-by-satoru-hirota-architects/>); Fig. 323 - Treehouse Tropical - João Appleton (C6_JoaoAppleton.pdf24.pdf).

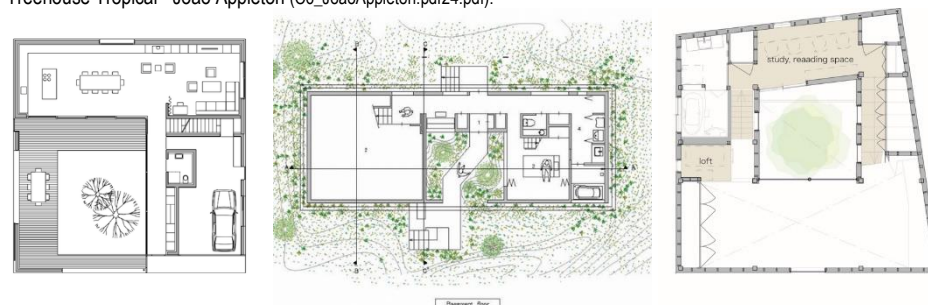


Fig. 324 - Wooden house with an inner courtyard - Bernardo Bader (<http://europaconcorsi.com/authors/30439-Bernardo-Bader/>); Fig. 325 - Nest / UID Architects (<http://www.archdaily.com/285221/nest-uid-architects/>); Fig. 326 - House J - Keiko Maita architect office (<http://www.archdaily.com/382445/house-j-keiko-maita-architect>).

VI.D.9 VÁRIOS PÁTIOS

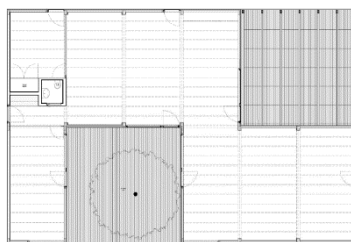
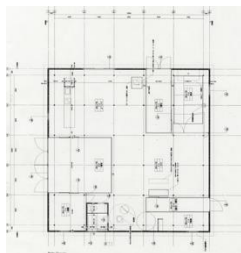


Fig. 327 - Weekend house at Gun-Usui - Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa (<http://p040910bioscajane.blogspot.pt/2010/05/casa-de-cap-de-setmana-usui-gun-japan.html>); Fig. 328 - Treehouse - João Appleton (C6_JoaoAppleton.pdf24.pdf).

VI.D.10 FRAGMENTOS LIGADOS

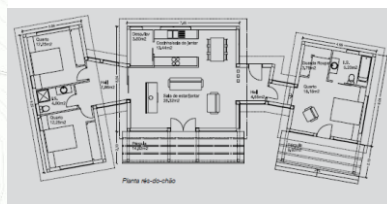


Fig. 329 - C/Z House - Sami - Arquitectos (<http://europaconcorsi.com/projects/188540-C-Z-House/images/2985528>); Fig. 330 - Jamberoo Farm House - Casey Brown Architecture (<http://www.archdaily.com/339387/jamberoo-farm-house-casey-brown-architecture/>); Fig. 331 - Post & Beam Flor - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt).

VI.D.11 OUTRAS CONFIGURAÇÕES

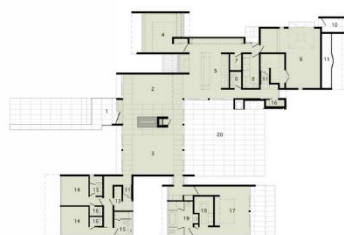
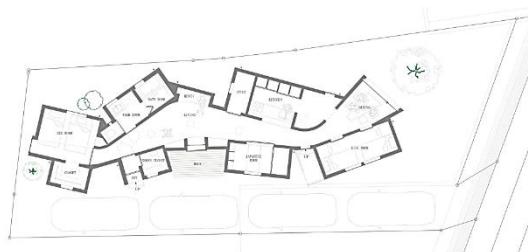


Fig. 332 - House in Sayo - Fujiwarramuro Architects (<http://www.archdaily.com/345154/house-in-sayo-fujiwarramuro-architects/>); Fig. 333 - Sam's Creek / Bates Masi Architects (<http://www.archdaily.com/325359/sams-creek-bates-masi-architects/>).

VII INQUÉRITO ÀS EMPRESAS

VII.A Formulário da entrevista às empresas

VII.A.1 EMPRESA

- 1.1. Qual ou quais as actividades da empresa no sector das casas de madeira? [caixas de selecção]
 - Respostas: Projecto; Construção; Fabrico; Comercialização; Outra
- 1.2. Qual o volume de trabalho da empresa (em percentagem) corresponde ao sector das casas de madeira? [escolha múltipla]
 - Respostas: Percentagem de 5% a 100%
- 1.3. Quais são os sistemas estruturais utilizados pela empresa? [caixas de selecção]
 - A) Reticulados leves (platform frame e balloon frame); B) Porticados (pilar-viga, pórticos, timber frame, estacas pole, post frame, plank and beam); C) Reticulados pesados (Reticulados pesados tradicionais); D) Paredes leves (blocos, pranchas e montantes); E) Painéis leves (reticulados, alveolares compactos, alveolares caixa, sanduiche); F) Paredes pesadas (toros serrados, toros redondos, toros verticais, blocos maciços); G) Painéis pesados (lamelados cruzados colados, cavilhados, paralelos, derivados, feixes); H) Módulos tridimensionais parciais (porticados, painéis leves, painéis pesados, mistos); I) Módulos tridimensionais completos (porticados, painéis leves, painéis pesados, mistos); J) Sistemas mistos leves (base reticulados leves, paredes leves, painéis leves); K) Sistemas mistos pesados (base reticulados pesados, paredes pesados, painéis pesados); Outros
- 1.4. Qual é, no caso de haver, o sistema estrutural preferencial ou mais utilizado pela empresa? (No caso de não haver um sistema referencial, passar à questão seguinte.) [caixas de selecção]
 - A) Reticulados leves (platform frame e balloon frame); B) Porticados (pilar-viga, pórticos, timber frame, estacas pole, post frame, plank and beam); C) Reticulados pesados (Reticulados pesados tradicionais); D) Paredes leves (blocos, pranchas e montantes); E) Painéis leves (reticulados, alveolares compactos, alveolares caixa, sanduiche); F) Paredes pesadas (toros serrados, toros redondos, toros verticais, blocos maciços); G) Painéis pesados (lamelados cruzados colados, cavilhados, paralelos, derivados, feixes); H) Módulos tridimensionais parciais (porticados, painéis leves, painéis pesados, mistos); I) Módulos tridimensionais completos (porticados, painéis leves, painéis pesados, mistos); J) Sistemas mistos leves (base reticulados leves, paredes leves, painéis leves); K) Sistemas mistos pesados (base reticulados pesados, paredes pesados, painéis pesados); Outros

VII.A.2 CLIENTES

- 2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira? (Assinalar a ordem de importância de "Muito importante" a "Sem importância") [Grelha de selecção]

	Muito importante	Importante	Pouco importante	Sem importância
CONFORTO (Ar interior, térmica, etc.)				
ECONOMIA (Custo inicial e de operação)				
AMBIENTE (Material renovável, reciclável, reutilizável)				
ARQUITECTURA (Estética, Singularidade)				
PROCESSO (Prazo de construção, rigor, previsibilidade)				
Outros				

- 2.1.1. No caso de ter assinalado "outros", indique o tipo de argumentos a que se refere
- 2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa? (Assinale a frequência com que ocorrem as situações seguintes) [Grelha de selecção]

	Frequentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
O consumidor final (utente)				
O promotor				
O arquitecto				
O cliente com um arquitecto				
O promotor com um arquitecto				
Outra situação				

- 2.2.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere
- 2.3. O cliente que aborda a empresa solicitando orçamentos ou preços (não incluindo os casos de mera curiosidade), normalmente já está decidido a construir uma casa de madeira ou ainda tem dúvidas? (Assinale a frequência com que ocorrem as situações seguintes)

	Frequentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
<i>Já está decidido a construir uma casa de madeira</i>				
<i>Ainda tem dúvidas se a sua opção será construir uma casa de madeira</i>				

- 2.4. Por que motivo é efectuada a primeira abordagem do cliente (ou do seu representante) à empresa? (Que situação ocorre mais frequentemente?)

	Frequentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
<i>O cliente pretende à partida os serviços e produtos da empresa porque se identifica com ela</i>				
<i>O cliente procura obter um orçamento adicional para comparar com outros de outras empresas</i>				
<i>O cliente procura conhecer a construção em madeira em relação à construção corrente</i>				
<i>Outra situação</i>				

- 2.4.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere

VII.A.3 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

- 3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa? Que situação ocorre mais frequentemente? (As situações são apresentadas com um nível decrescente de pré-fabricação)

	Frequentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
<i>Pré-fabricação de módulos completos</i>				
<i>Pré-fabricação de módulos parciais</i>				
<i>Pré-fabricação de componentes de um sistema pré-definido (com regras de modulação)</i>				
<i>Pré-fabricação de componentes em função das definições de projecto</i>				
<i>Pré-fabricação de componentes de mercado normalizados</i>				
<i>Fabrico na obra com pré-fabricação reduzida</i>				
<i>Outra situação</i>				

- 3.1.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere
- 3.2. A distância é um factor importante para a viabilidade económica da oferta?
 - Sim; Não
- 3.4. Qual o preço médio por m² de uma casa de madeira de qualidade normal? (Indicar um valor aproximado ou um intervalo (entre x e y), em Euros, para a construção final)

VII.A.4 MÉTODO E CONCEPÇÃO DE PROJECTO

- Questões sobre o tipo de oferta conceptual, catálogo como instrumento de apoio à oferta, ideia inicial do cliente e desenvolvimento da ideia inicial
- 4.1. Do ponto de vista do "produto casa de madeira", qual é a forma de apresentar a oferta da empresa aos clientes? (Por catálogo de soluções entende-se um conjunto de soluções de casas de madeira apresentado aos clientes como sendo "produtos" oferecidos pela empresa)
 - Catálogo de soluções de habitação pré-definidas; Catálogo de soluções modulares personalizáveis dentro das regras do sistema modular; Catálogo de sistema de componentes com soluções personalizáveis dentro das regras dos componentes; Personalização de soluções a partir de soluções de catálogo; Soluções completamente personalizadas; Outra*
- 4.2. No caso de ser utilizado o catálogo de soluções, este é importante na oferta da empresa? (Pretende-se saber se o catálogo de soluções é alvo de atenção por parte dos cliente e da empresa durante o processo de projecto das casas de madeira)
 - Muito importante; Importante; Pouco Importante; Sem importância; Não aplicável*
- 4.3. No caso de ser utilizado o catálogo de soluções, qual a situação que melhor descreve o seu objectivo? (As situações descritas apresentam o catálogo com uma ordem decrescente de importância)
 - É uma mostra do produto final a oferecer efectivamente ao cliente; É um referencial orientador para apoiar as escolhas do cliente; É principalmente um meio de marketing (mostrando um portfolio de soluções que a empresa já realizou ou pode realizar); Não aplicável; Outros*
- 4.4. No caso de ser o cliente final ou o promotor a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto? (Que situação ocorre mais frequentemente?)

	<i>Frequentemente</i>	<i>Ocasionalmente</i>	<i>Raramente</i>	<i>Nunca</i>
<i>O cliente tem uma ideia pré-definida do tipo Funcional (programa funcional) e Espacial (geometria e volumetria)</i>				
<i>O cliente tem uma ideia pré-definida do tipo Simbólico (Linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes)</i>				
<i>O cliente tem uma ideia pré-definida do tipo Estrutural / Construtivo</i>				
<i>O cliente não tem ideias pré-definidas</i>				

- 4.5. No caso de ser o arquitecto a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto? (Que situação ocorre mais frequentemente?)

	<i>Frequentemente</i>	<i>Ocasionalmente</i>	<i>Raramente</i>	<i>Nunca</i>
<i>O arquitecto tem uma ideia pré definida do tipo Funcional (programa funcional) e Espacial (geometria e volumetria)</i>				
<i>O arquitecto tem uma ideia pré-definida do tipo Simbólico (Linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes)</i>				
<i>O arquitecto tem uma ideia pré-definida do tipo Estrutural / Construtivo</i>				
<i>O arquitecto não tem ideias predefinidas</i>				

- 4.6. No caso de o cliente apresentar à empresa uma ideia pré concebida da solução da arquitectura (tipo formal, funcional, espacial, simbólico), como é depois desenvolvida para integrar os sistemas construtivos da empresa? (Pretende-se saber se a ideia arquitectónica pré-concebida é compatível com os sistemas estruturais e construtivos oferecidos pela empresa)
 - *Utiliza-se essa ideia, sendo depois muito alterada; Utiliza-se essa ideia, sendo depois ligeiramente adaptada; Utiliza-se essa ideia, sendo depois concretizada quase sem adaptações; Outra*
- 4.7. No caso de o cliente não ter ideias pré-definidas, a definição da solução arquitectónica formal é realizada com base em:
 - *Catálogo de soluções de habitação pré-definidas; Personalização de soluções a partir de soluções de catálogo; Soluções completamente personalizadas; Outra*

VII.A.5 O PAPEL DO ARQUITECTO

- Questões sobre a oferta de serviços pela empresa, intervenção do arquitecto, dificuldades do arquitecto e engenharia na equipa de projecto
- 5.1. Que serviços de projecto são oferecidos pela empresa?
 - *Serviços de arquitectura; Serviços de engenharia de estruturas; Serviços das restantes especialidades; Outros*
- 5.2. Que serviços de projecto são contratados ao exterior pela empresa?
 - *Serviços de arquitectura; Serviços de engenharia de estruturas; Serviços das restantes especialidades; Outros*
- 5.3. Nos projectos da empresa, onde incide normalmente a intervenção do arquitecto?
 - *Elaboração do programa base; Estudo prévio da arquitectura; Coordenação do estudo prévio da arquitectura e das especialidades; Projecto base de arquitectura para licenciamento; Coordenação do projecto base de arquitectura e das especialidades para licenciamento; Projecto de execução de arquitectura (pormenorização); Coordenação do projecto de execução de arquitectura (pormenorização) e das especialidades; Outros*
- 5.4. Como é coordenado o projecto de execução pela empresa?
 - *A empresa elabora os desenhos da estrutura ou de fabrico e envia-os ao arquitecto; O arquitecto elabora o projecto de execução que é utilizado pelo fabricante para desenvolver os desenhos da estrutura e fabrico; Outro*
- 5.5. O arquitecto demonstra normalmente dificuldades em alguns aspectos da construção em madeira?
 - *Muitas dificuldades, Algumas dificuldades, Poucas dificuldades, Nenhuma dificuldade*
- 5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores dificuldades?

	Muitas dificuldades	Algumas dificuldades	Poucas dificuldades	Nenhumas dificuldades
Comportamento estrutural da madeira				
Comportamento higrométrico da madeira				
Condicionantes da durabilidade				
Lógica dos sistemas de construção				
Detalhes de execução				
Lógica e regras do fabrico dos produtos				
Outra situação				

- 5.6.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere
- 5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?

	Muito importante	Importante	Pouco importante	Sem importância
Definição do programa				
Definição dos tipos formais (funções, geometria, estética) de raiz e personalizados				
Adaptação dos tipos de catálogo às condições do local de implantação				
Adaptação dos tipos de catálogo às necessidades do cliente				
Definição do projecto de licenciamento				
Definição dos pormenores técnicos construtivos				
Definição dos acabamentos				
Outra situação				

- 5.7.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere
- 5.8. Onde deve estar integrada a especialidade da engenharia de estruturas:
 - Só na empresa; Só na equipa de projecto; Em ambas; Nem na empresa, nem na equipa de projecto, devendo ser um serviço de consultoria contratado pela empresa; Outra
- 5.9. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para o processo de projecto e construção resultante da intervenção do arquitecto na coordenação
 - Torna o processo mais complexo; Simplifica o processo; Não altera a normalidade do processo; Outra
- 5.10. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para a construção em geral resultante da intervenção do arquitecto na coordenação
 - Conduz a obras com problemas posteriores; Conduz a obras com menos problemas; Não altera a normalidade das obras; Outra
- 5.11. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para a economia da construção resultante da intervenção do arquitecto na coordenação
 - Torna o processo mais dispendioso; Torna o processo mais económico; Não altera os custos normais envolvidos nas obras; Outra

VII.A.6 ESCOLHA E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

- Questões sobre a escolha do tipo estrutural, enquadramento nas fases de projecto e critérios de escolha
- 6.1. Com que frequência o cliente - durante o processo de escolha e definição inicial da solução - faz menção explícita ao sistema estrutural que pretende para o seu projecto?
 - Frequentemente; Ocasionalmente; Raramente; Nunca; Outra
- 6.2. Se o cliente não faz menção à solução estrutural, qual a situação que ocorre com mais frequência relativamente à escolha do tipo estrutural?

	Frequentemente	Ocasionalmente	Raramente	Nunca
A escolha do tipo estrutural surge SIMULTANEAMENTE com o tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos)				
A escolha do tipo estrutural surge DEPOIS do tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos)				
A escolha do tipo estrutural surge ANTES do tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos)				
Outra situação				

- 6.2.1. No caso de ter assinalado "outra situação", indique o tipo de situação a que se refere
- 6.3. Em que fase começa a ser equacionado/avaliado/considerado o sistema estrutural a utilizar?

	<i>Frequentemente</i>	<i>Ocasionalmente</i>	<i>Raramente</i>	<i>Nunca</i>
<i>Programa base</i>				
<i>Estudo prévio</i>				
<i>Projecto base</i>				

- 6.4. Em que fase é escolhido definitivamente o sistema estrutural a utilizar?

	<i>Frequentemente</i>	<i>Ocasionalmente</i>	<i>Raramente</i>	<i>Nunca</i>
<i>Programa base</i>				
<i>Estudo prévio</i>				
<i>Projecto base</i>				

- 6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?

	<i>Muito importante</i>	<i>Importante</i>	<i>Pouco importante</i>	<i>Nada importante</i>
<i>A adequação à solução arquitectónica</i>				
<i>Economia</i>				
<i>Ambiente</i>				
<i>Qualidade do processo de construção</i>				
<i>Prazo de construção</i>				
<i>Outros</i>				

- 6.5.1. No caso de ter assinalado "outros", indique o tipo de critério a que se refere
- 6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural? (Pretende-se saber se os regulamentos e normas podem influenciar a escolha do tipo estrutural quando variam as condições do local onde a casa vai ser implantada)

	<i>Muito importante</i>	<i>Importante</i>	<i>Pouco importante</i>	<i>Nada importante</i>
<i>Térmica (Zonas climáticas)</i>				
<i>Estrutura (Zonas sísmicas, tipos de solo)</i>				
<i>Estética (Paisagem, integração)</i>				
<i>Normas específicas da construção em madeira</i>				

- 6.7. - As zonas climáticas em Portugal têm influência na definição das características da envolvente construída? (A pergunta refere-se às características das paredes exteriores, da cobertura e dos vãos)

VII.A.7 COMPARAÇÃO DE SISTEMAS ESTRUTURAIS

- Questões sobre a importância do sistema estrutural e a comparação em função das situações de projecto e da adaptação aos diferentes tipos simbólicos
- 7.1. Qual o impacto do sistema estrutural nas definições funcionais (programa funcional), espaciais (geometria e volumetria) e simbólicas (linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes) da forma arquitectónica?
 - *Muito importante; Importante; Pouco importante; Nada importante*
- 7.2. É normal, no desenvolvimento dos projectos, a empresa efectuar análises comparativas de diferentes sistemas estruturais com objectivo de escolher o mais adequado?
 - *Frequentemente; Ocasionalmente; Raramente; Nunca*
- 7.3. Qualquer tipo estrutural permite responder às exigências regulamentares, ou há tipos estruturais que têm um melhor comportamento em relação a outros?
 - *Qualquer tipo estrutural responde às exigências regulamentares; Há tipos estruturais melhores que outros; Há tipos estruturais melhores que outros; Outra*
- 7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios: (Nesta questão pretende-se simular uma situação em que a empresa tem que escolher uma solução estrutural com base num determinado critério)

	<i>Porticado</i>	<i>Pranchas montantes</i>	<i>Painéis reticulados</i>	<i>Toros</i>	<i>Painéis CLT</i>	<i>Indiferente</i>
<i>REGULAMENTOS</i>						
<i>ECONOMIA</i> Custo de construção e manutenção						
<i>AMBIENTE</i> Emissões de CO ₂ , resíduos, reciclagem						
<i>ARQUITECTURA</i> Adequação do tipo construtivo						
<i>PROCESSO</i> Nivel de pré-fabricação, facilidade de construção, prazos						

- 7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações. Nesta questão pretende-se simular uma situação em que a empresa tem que escolher uma solução estrutural com base num determinado critério

	<i>Porticado</i>	<i>Pranchas montantes</i>	<i>Painéis reticulados</i>	<i>Toros</i>	<i>Painéis CLT</i>	<i>Indiferente</i>
<i>Vãos estruturais ou envidraçados de grande dimensão</i>						
<i>Volumes salientes, varandas</i>						
<i>Espaços interiores descompartmentados</i>						
<i>Flexibilidade estilística</i>						
<i>Carácter contemporâneo</i>						
<i>Carácter tradicional</i>						
<i>Carácter de verdade estrutural</i>						
<i>Minimização das cargas nas fundações</i>						

VII.A.8 PROCESSO DE PROJECTO

- 8.1. Concorda que no estudo prévio haja uma consulta, por parte do arquitecto, ao fabricante para obter preços de referência com base em desenhos à escala 1/200 ou 1/100 muito genéricos?
 - *Sim, Não, Indiferente, Outra*
- 8.2. Concorda que no projecto base (fase de licenciamento) seja realizada uma consulta final às empresas para obter um orçamento com base em desenhos à escala 1/100 já muito desenvolvidos?
 - *Sim, Não, Indiferente, Outra*
- 8.3. Em que fase deve ser efectuada a adjudicação da obra?
 - *Antes do Programa base; Antes do Estudo prévio; Antes do Projecto base; Antes do Projecto de execução; Outra*
- 8.4. O projecto de execução deve ser desenvolvido de que forma?
 - *Primeiro o fabricante deve realizar os desenhos de execução da estrutura ou fabrico com base nos quais o arquitecto desenvolverá os desenhos de execução; Primeiro o arquitecto deve elaborar o projecto de execução com base no qual o fabricante faz os desenhos de execução da estrutura ou fabrico; Em simultâneo; Outro*

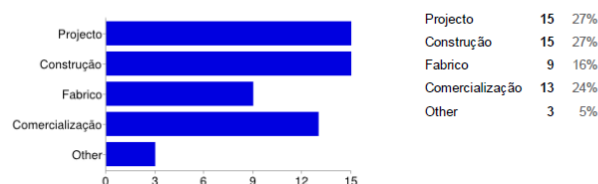
VII.A.9 ENTREVISTA CONCLUÍDA

- Relativamente à divulgação dos dados da entrevista:
 - *Permite que os dados sejam divulgados sem relacionar as respostas com a empresa?*
 - *Permite que a empresa seja referida como tendo participado neste estudo?*
- Se pretender receber o resultado das entrevistas, indique por favor um email:
- Data da entrevista
- Notas do entrevistador

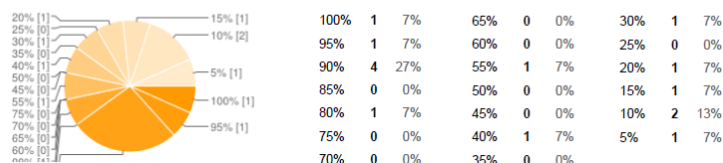
VII.A.10 RESULTADOS E GRÁFICOS DA ENTREVISTA

1. Empresa

1.1. Qual ou quais as actividades da empresa no sector das casas de madeira?



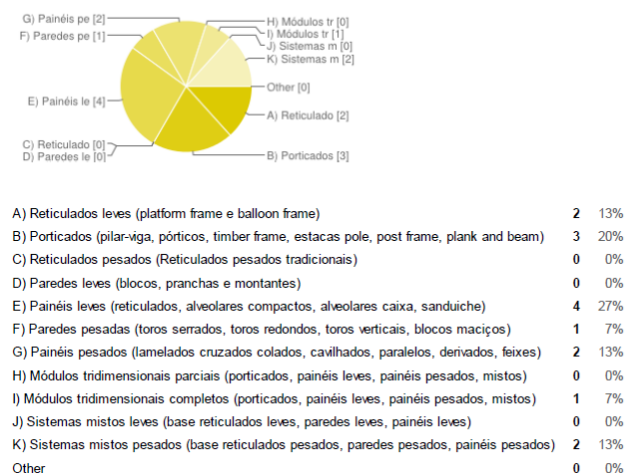
1.2. Qual o volume de trabalho da empresa (em percentagem) corresponde ao sector das casas de madeira?



1.3. Quais são os sistemas estruturais utilizados pela empresa?

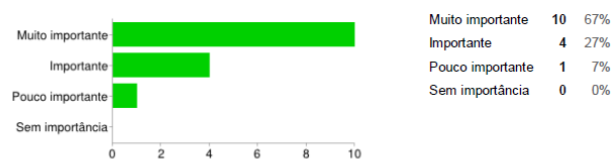


1.4. Qual é, no caso de haver, o sistema estrutural preferencial ou mais utilizado pela empresa?



2. Clientes

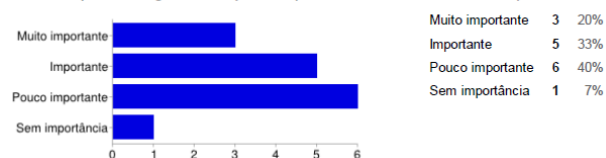
CONFORTO (Ar interior, térmica, etc.) [2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira?]



ECONOMIA (Custo inicial e de operação) [2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira?]



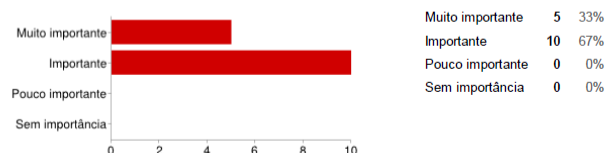
AMBIENTE (Material renovável, reciclável, reutilizável, sequestro de carbono, etc.) [2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira?]



ARQUITECTURA (Estética, singularidade) [2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira?]

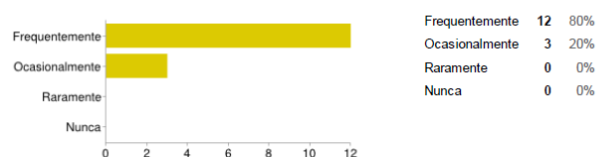


PROCESSO (Prazo de construção, rigor, previsibilidade, etc.) [2.1. Do ponto de vista da sensibilidade dos clientes, quais os argumentos que a empresa considera fundamentais para vender casas de madeira?]



2.1.1.

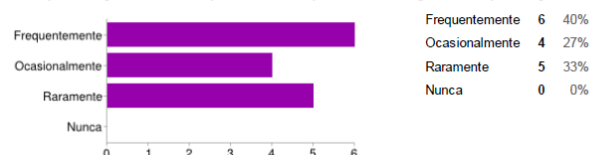
O consumidor final (utente) [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]



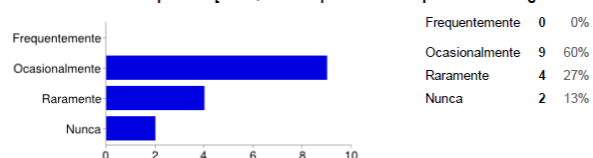
O promotor [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]



O arquitecto [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]



O cliente com um arquitecto [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]



O promotor com um arquitecto [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]

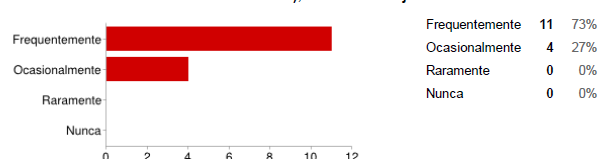


Outra situação [2.2. Qual é o tipo de cliente que aborda em geral a empresa?]

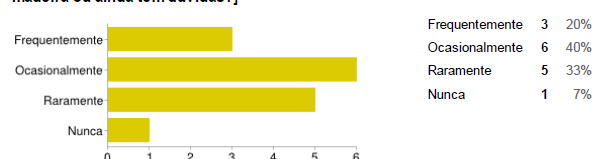
No responses yet for this question.

2.2.1.

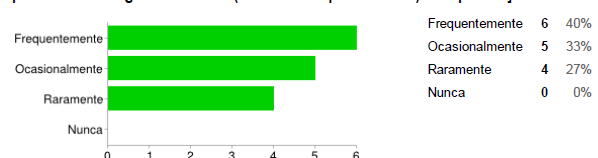
Já está decidido a construir uma casa de madeira [2.3. O cliente que aborda a empresa solicitando orçamentos ou preços (não incluindo os casos de mera curiosidade), normalmente já está decidido a construir uma casa de madeira ou ainda tem dúvidas?]



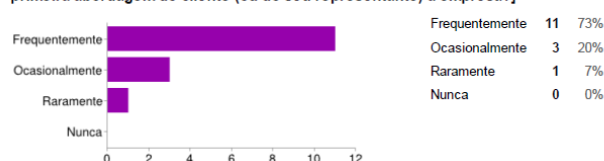
Ainda tem dúvidas se a sua opção será construir uma casa de madeira [2.3. O cliente que aborda a empresa solicitando orçamentos ou preços (não incluindo os casos de mera curiosidade), normalmente já está decidido a construir uma casa de madeira ou ainda tem dúvidas?]



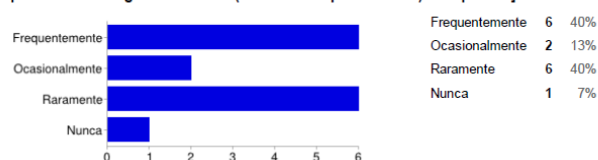
O cliente pretende à partida os serviços e produtos da empresa porque se identifica com ela [2.4. Por que motivo é efectuada a primeira abordagem do cliente (ou do seu representante) à empresa?]



O cliente procura obter um orçamento adicional para comparar com outros de outras empresas [2.4. Por que motivo é efectuada a primeira abordagem do cliente (ou do seu representante) à empresa?]



O cliente procura conhecer a construção em madeira em relação à construção corrente [2.4. Por que motivo é efectuada a primeira abordagem do cliente (ou do seu representante) à empresa?]

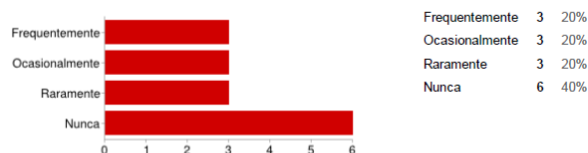


Outra situação [2.4. Por que motivo é efectuada a primeira abordagem do cliente (ou do seu representante) à empresa?]

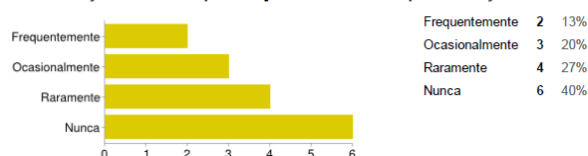


3. Processo de construção

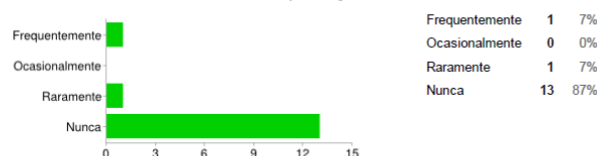
Pré-fabricação de módulos completos [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]



Pré-fabricação de módulos parciais [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]



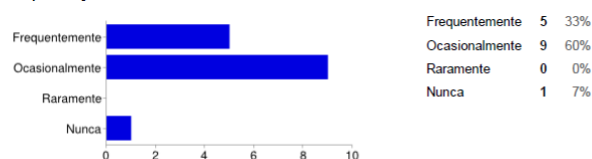
Pré-fabricação de componentes de um sistema pré-definido (com regras de modulação) [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]



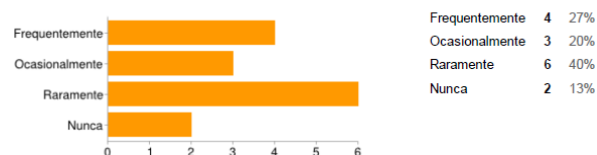
Pré-fabricação de componentes em função das definições de projecto [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]



Pré-fabricação de componentes de mercado normalizados [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]

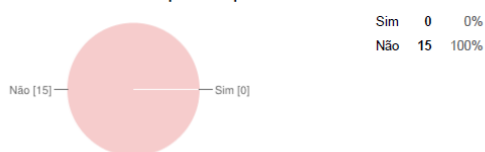


Fabrico na obra com pré-fabricação reduzida [3.1. Qual o nível de pré-fabricação utilizado normalmente nas obras da empresa?]



3.1.1.

3.2. A distância é um factor importante para a viabilidade económica da oferta?

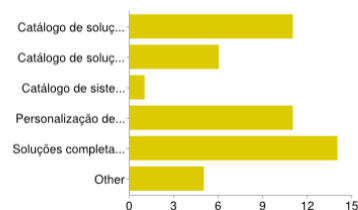


3.4. Qual o preço médio por m2 de uma casa de madeira de qualidade normal?

800 600 730 1000 925 700 575 500 850 750

4. Método e concepção do projecto

4.1. Do ponto de vista do "produto casa de madeira", qual é a forma de apresentar a oferta da empresa aos clientes?

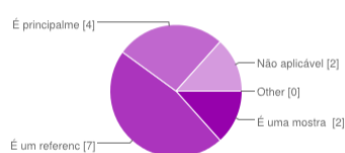


Catálogo de soluções de habitação pré-definidas	11	23%
Catálogo de soluções modulares personalizáveis dentro das regras do sistema modular	6	13%
Catálogo de sistema de componentes com soluções personalizáveis dentro das regras dos componentes	1	2%
Personalização de soluções a partir de soluções de catálogo	11	23%
Soluções completamente personalizadas	14	29%
Other	5	10%

4.2. No caso de ser utilizado o catálogo de soluções, este é importante na oferta da empresa?

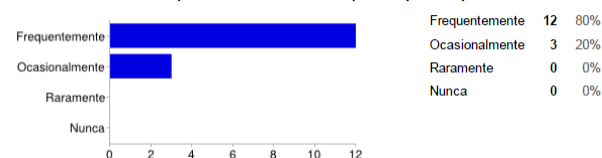


4.3. No caso de ser utilizado o catálogo de soluções, qual a situação que melhor descreve o seu objectivo?

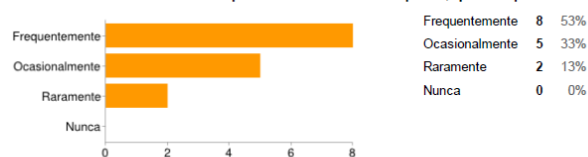


É uma mostra do produto final a oferecer efectivamente ao cliente	2	13%
É um referencial orientador para apoiar as escolhas do cliente	7	47%
É principalmente um meio de marketing (mostrando um portfolio de soluções que a empresa já realizou ou pode realizar)	4	27%
Não aplicável	2	13%
Other	0	0%

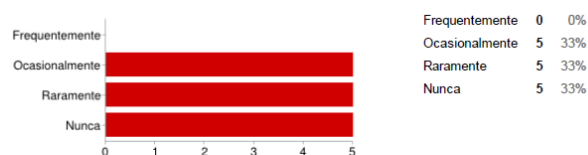
O cliente tem uma ideia pré definida do tipo Funcional (programa funcional) e Espacial (geometria e volumetria) [4.4. No caso de ser o cliente final ou o promotor a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



O cliente tem uma ideia pré-definida do tipo Simbólico (Linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes) [4.4. No caso de ser o cliente final ou o promotor a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



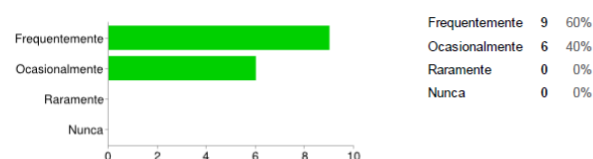
O cliente tem uma ideia pré-definida do tipo Estrutural / Construtivo [4.4. No caso de ser o cliente final ou o promotor a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



O cliente não tem ideias pré-definidas [4.4. No caso de ser o cliente final ou o promotor a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



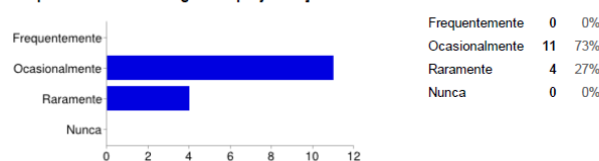
O arquitecto tem uma ideia pré-definida do tipo Funcional (programa funcional) e Espacial (geometria e volumetria) [4.5. No caso de ser o arquitecto a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



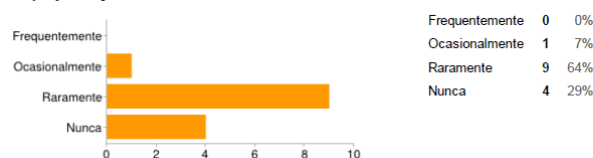
O arquitecto tem uma ideia pré-definida do tipo Simbólico (Linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes) [4.5. No caso de ser o arquitecto a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



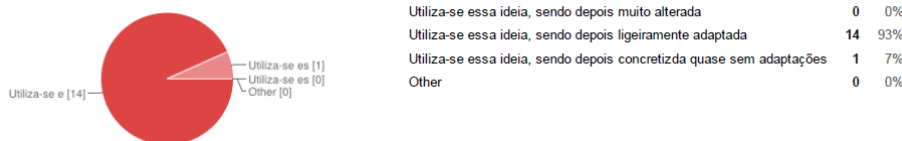
O arquitecto tem uma ideia pré-definida do tipo Estrutural/ Construtivo [4.5. No caso de ser o arquitecto a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



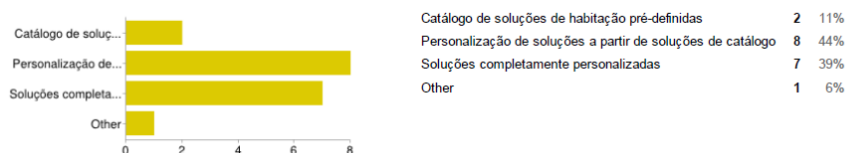
O arquitecto não tem ideias pré-definidas [4.5. No caso de ser o arquitecto a abordar a empresa, qual é o processo de abordagem ao projecto?]



4.6. No caso de o cliente apresentar à empresa uma ideia pré concebida da solução da arquitectura (tipo formal, funcional, espacial, simbólico), como é depois desenvolvida para integrar os sistemas construtivos da empresa?

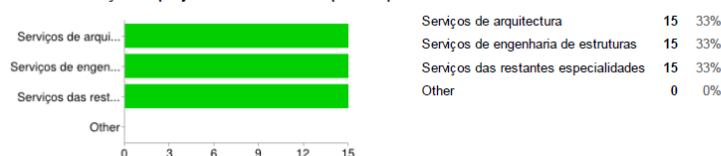


4.7. No caso de o cliente não ter ideias pré-definidas, a definição da solução arquitectónica formal é realizada com base em:

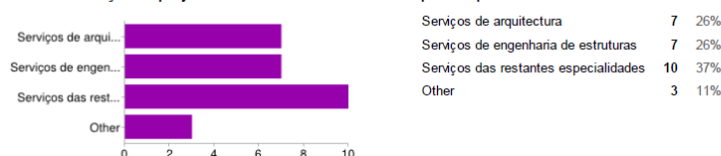


5. O papel do arquitecto

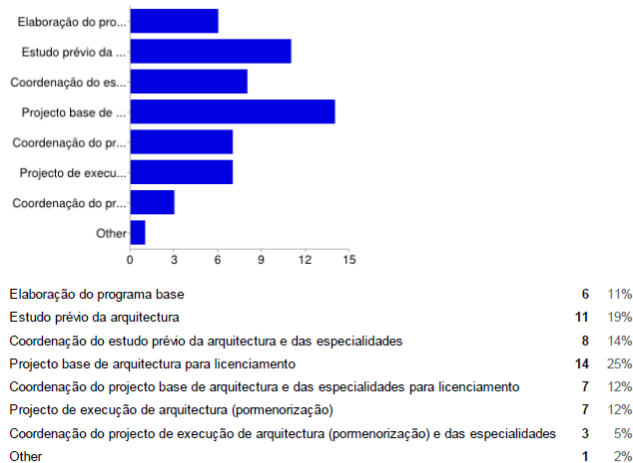
5.1. Que serviços de projecto são oferecidos pela empresa?



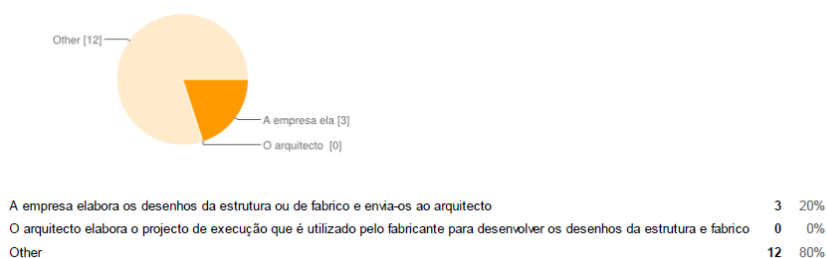
5.2. Que serviços de projecto são contratados ao exterior pela empresa?



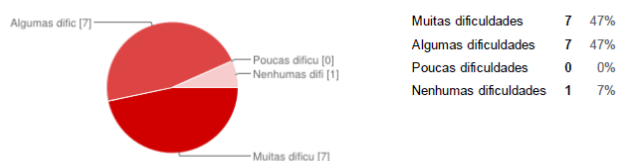
5.3. Nos projectos da empresa, onde incide normalmente a intervenção do arquitecto?



5.4. Como é coordenado o projecto de execução pela empresa?



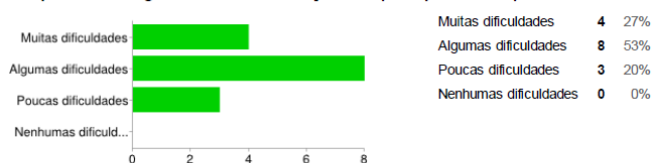
5.5. O arquitecto demonstra normalmente dificuldades em alguns aspectos da construção em madeira?



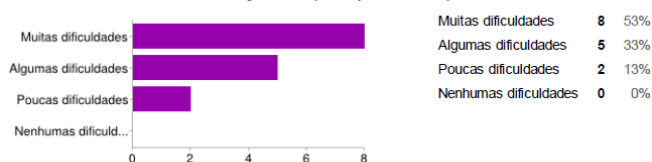
Comportamento estrutural da madeira [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]



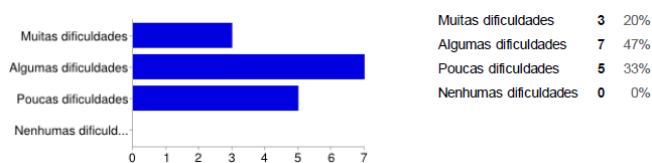
Comportamento higrométrico da madeira [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]



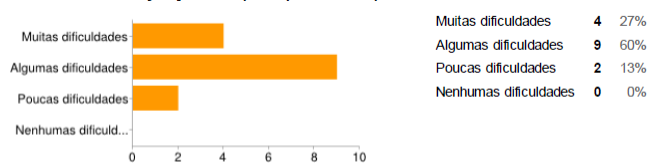
Condicionantes da durabilidade [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]



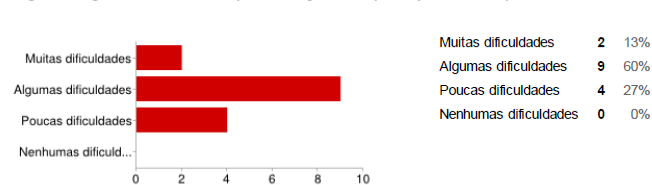
Lógica dos sistemas de construção [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]



Detalhes de execução [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]



Lógica e regras do fabrico dos produtos [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]

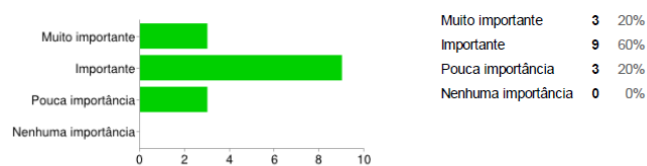


Outra situação [5.6. Em que aspectos o arquitecto enfrenta maiores ou menores dificuldades?]

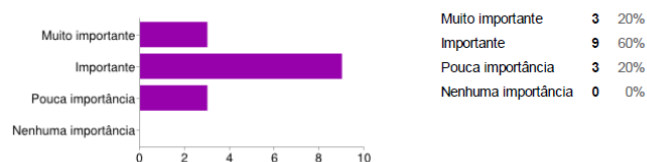


5.6.1.

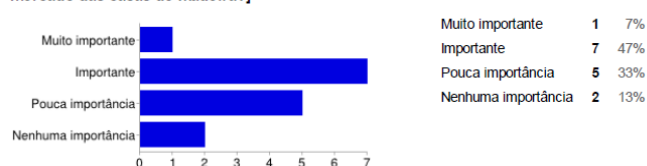
Definição do programa [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]



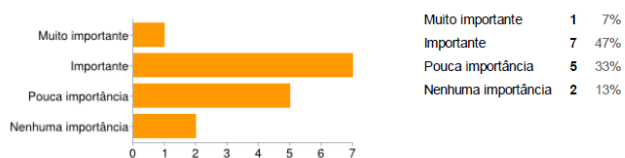
Definição dos tipos formais (funções, geometria, estética) de raiz e personalizados [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]



Adaptação dos tipos de catálogo às condições do local de implantação [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]

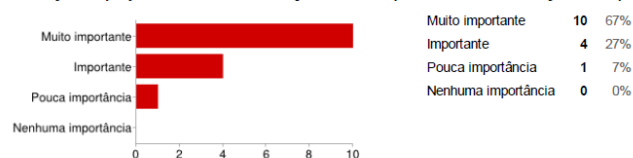


Adaptação dos tipos de catálogo às necessidades do cliente [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]

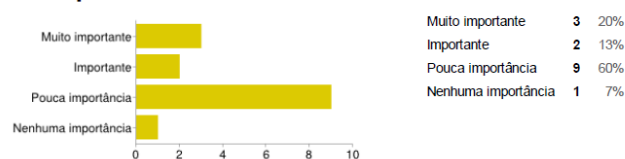


Entrevista Empresas Casas de Madeira - Google Forms

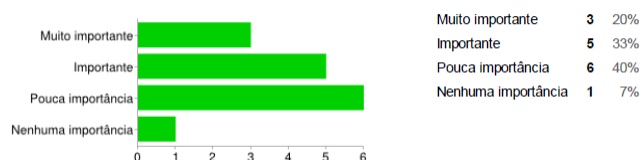
Definição do projecto de licenciamento [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]



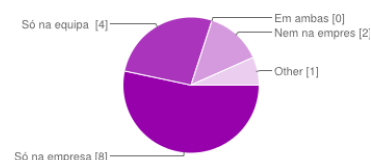
Definição dos pormenores técnicos construtivos [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]



Definição dos acabamentos [5.7. Qual a importância da intervenção do arquitecto no mercado das casas de madeira?]

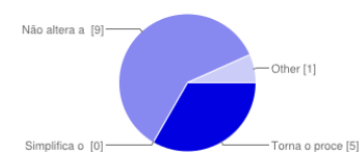


5.8. Onde deve estar integrada a especialidade da engenharia de estruturas:



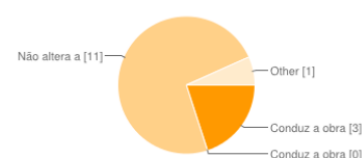
Só na empresa	8	53%
Só na equipa de projecto	4	27%
Em ambas	0	0%
Nem na empresa, nem na equipa de projecto, devendo ser um serviço de consultoria contratado pela empresa	2	13%
Other	1	7%

5.9. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para o processo de projecto e construção resultante da intervenção do arquitecto na coordenação



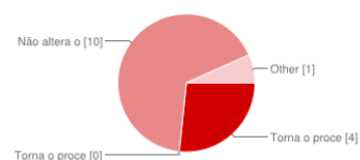
Toma o processo mais complexo	5	33%
Simplifica o processo	0	0%
Não altera a normalidade do processo	9	60%
Other	1	7%

5.10. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para a construção em geral resultante da intervenção do arquitecto na coordenação



Conduz a obras com problemas posteriores	3	20%
Conduz a obras com menos problemas	0	0%
Não altera a normalidade das obras	11	73%
Other	1	7%

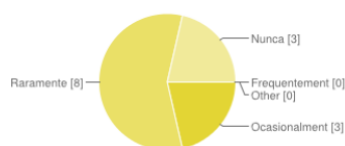
5.11. Com base na experiência da empresa, qual a implicação para o a economia da construção resultante da intervenção do arquitecto na coordenação



Toma o processo mais dispendioso	4	27%
Toma o processo mais económico	0	0%
Não altera os custos normais envolvidos nas obras	10	67%
Other	1	7%

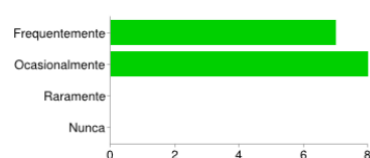
6. Escolha e avaliação de sistemas estruturais

6.1. Com que frequência o cliente - durante o processo de escolha e definição inicial da solução - faz menção explícita ao sistema estrutural que pretende para o seu projecto?



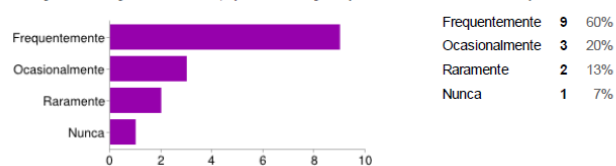
Frequentemente	0	0%
Ocasionalmente	3	21%
Raramente	8	57%
Nunca	3	21%
Other	0	0%

A escolha do tipo estrutural surge SIMULTÂNEAMENTE com o tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos) [6.2. Se o cliente não faz menção à solução estrutural, qual a situação que ocorre com mais frequência relativamente à escolha do tipo estrutural?]

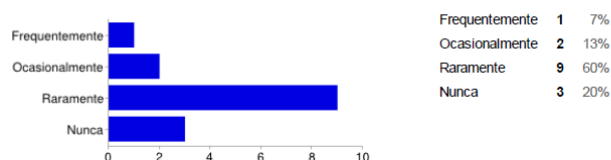


Frequentemente	7	47%
Ocasionalmente	8	53%
Raramente	0	0%
Nunca	0	0%

A escolha do tipo estrutural surge DEPOIS do tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos) [6.2. Se o cliente não faz menção à solução estrutural, qual a situação que ocorre com mais frequência relativamente à escolha do tipo estrutural?]



A escolha do tipo estrutural surge ANTES do tipo formal (funções, geometria, estética, acabamentos) [6.2. Se o cliente não faz menção à solução estrutural, qual a situação que ocorre com mais frequência relativamente à escolha do tipo estrutural?]

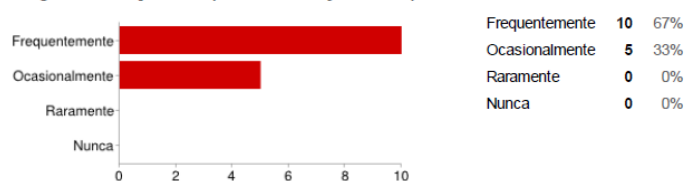


Outra situação [6.2. Se o cliente não faz menção à solução estrutural, qual a situação que ocorre com mais frequência relativamente à escolha do tipo estrutural?]



6.2.1.

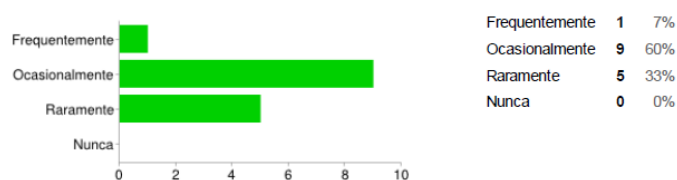
Programa base [6.3. Em que fase começa a ser equacionado/avaliado/considerado o sistema estrutural a utilizar?]



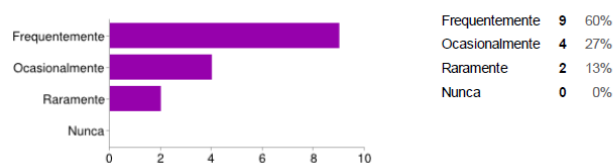
Estudo prévio [6.3. Em que fase começa a ser equacionado/avaliado/considerado o sistema estrutural a utilizar?]



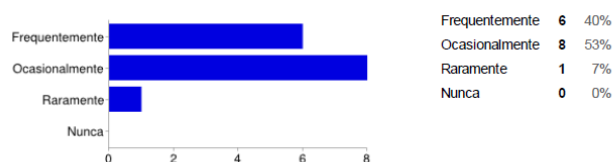
Projecto base [6.3. Em que fase começa a ser equacionado/avaliado/considerado o sistema estrutural a utilizar?]



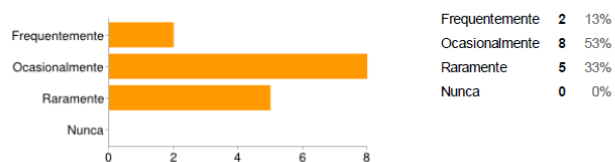
Programa base [6.4. Em que fase é escolhido definitivamente o sistema estrutural a utilizar?]



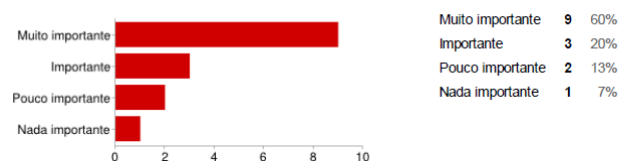
Estudo prévio [6.4. Em que fase é escolhido definitivamente o sistema estrutural a utilizar?]



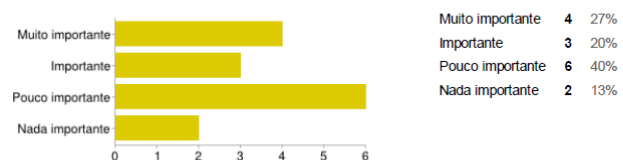
Projecto base [6.4. Em que fase é escolhido definitivamente o sistema estrutural a utilizar?]



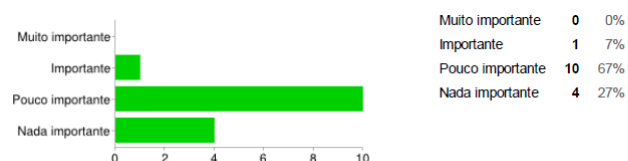
Adequação à solução arquitectónica [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]



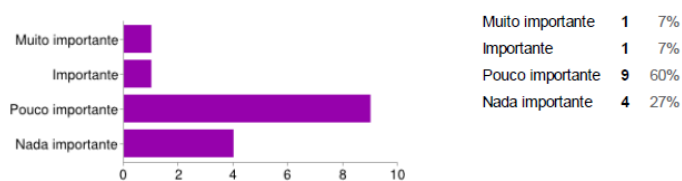
Economia [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]



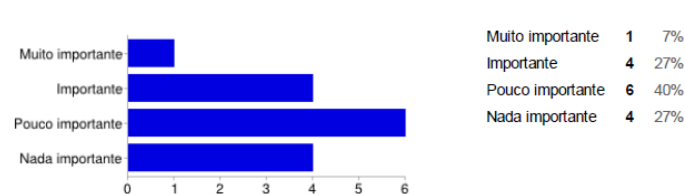
Ambiente [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]



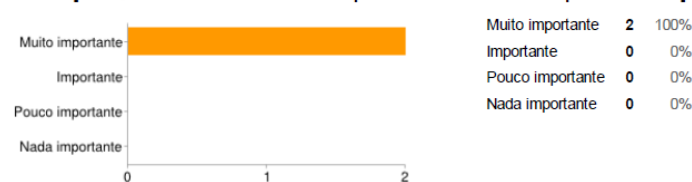
Qualidade do processo de construção [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]



Prazo de construção [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]

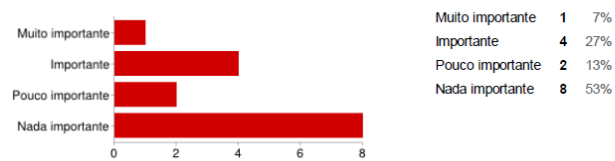


Outros [6.5. Quais são os critérios mais importantes na escolha do tipo estrutural?]

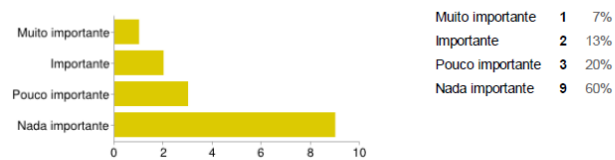


6.5.1.

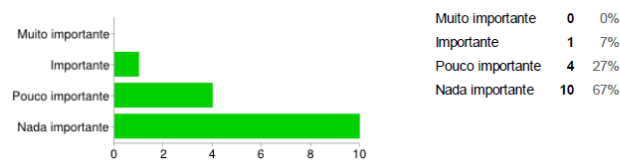
Térmica (Zonas climáticas) [6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural?]



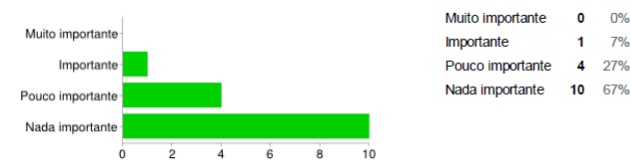
Estrutura (Zonas sísmicas, tipos de solo) [6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural?]



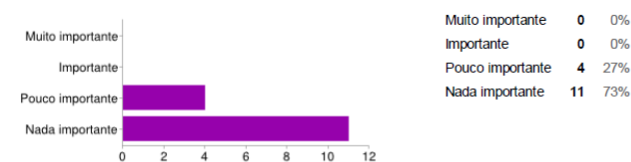
Estética (Paisagem, integração) [6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural?]



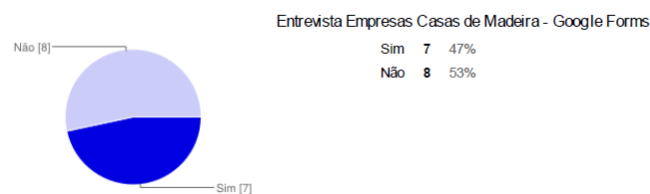
Estética (Paisagem, integração) [6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural?]



Normas específicas da construção em madeira [6.6. Qual a importância das exigências regulamentares na escolha do tipo estrutural?]



6.7. - As zonas climáticas em Portugal têm influência na definição das características da envolvente construída?

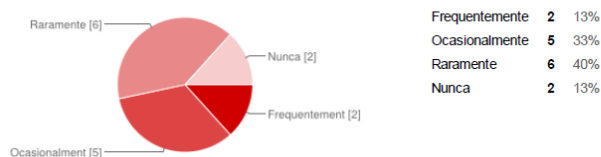


7. Comparação de sistemas estruturais

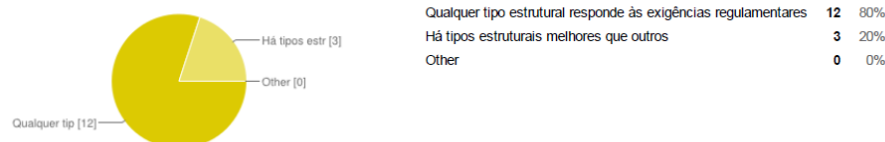
7.1. Qual o impacto do sistema estrutural nas definições funcionais (programa funcional), espaciais (geometria e volumetria) e simbólicas (linguagem arquitectónica, proporções, acabamentos, detalhes) da forma arquitectónica?



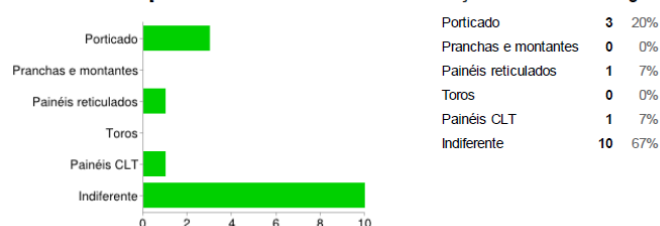
7.2. É normal, no desenvolvimento dos projectos, a empresa efectuar análises comparativas de diferentes sistemas estruturais com objectivo de escolher o mais adequado?



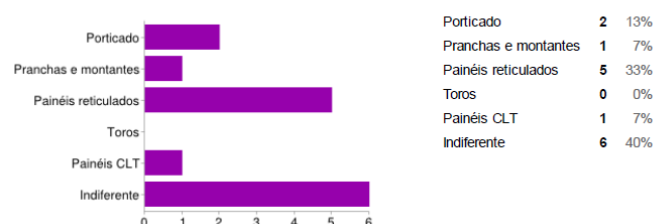
7.3. Qualquer tipo estrutural permite responder às exigências regulamentares, ou há tipos estruturais que têm um melhor comportamento em relação a outros?



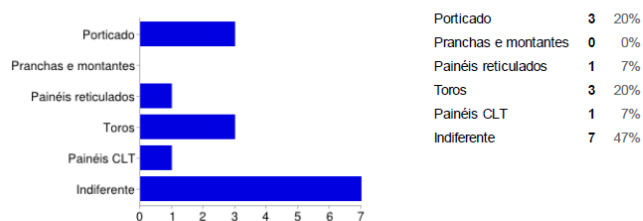
REGULAMENTOS [7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios]



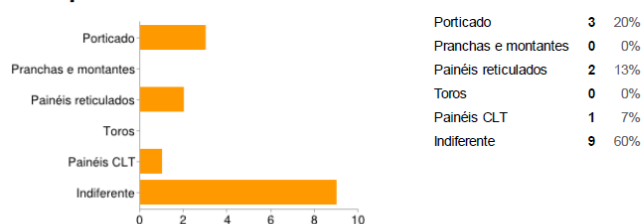
ECONOMIA Custo de construção e manutenção [7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios]



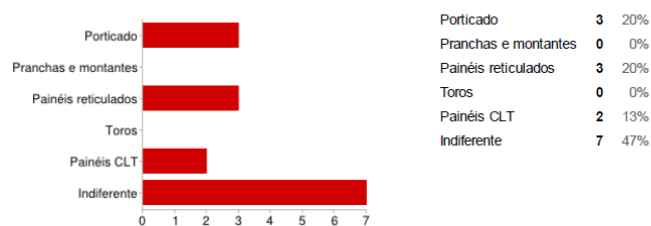
AMBIENTE Emissões de CO2, resíduos, reciclagem [7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios]



ARQUITECTURA Adequação do tipo construtivo [7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios]



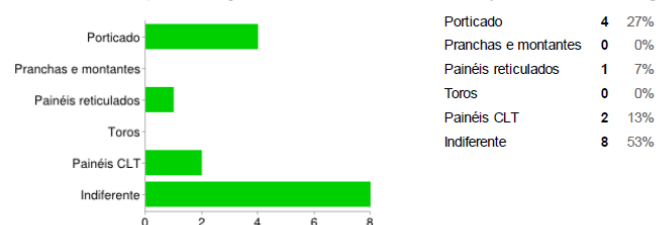
PROCESSO Nível de pré-fabricação, facilidade de construção, prazos [7.4. Escolha um sistema estrutural em função de cada um dos seguintes critérios]



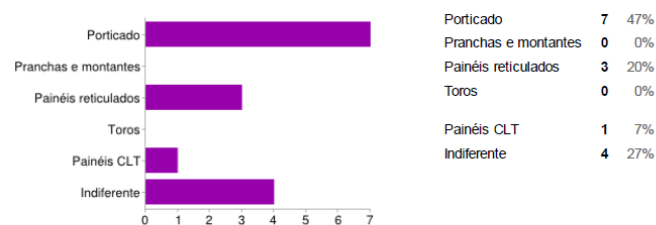
Vãos estruturais ou envidraçados de grande dimensão [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



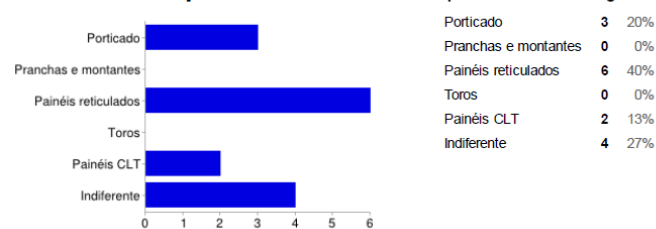
Volumes salientes, varandas [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



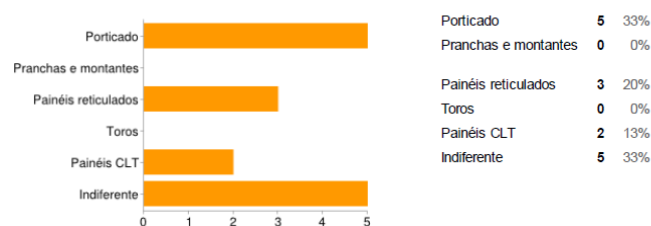
Espaços interiores descompartmentados [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



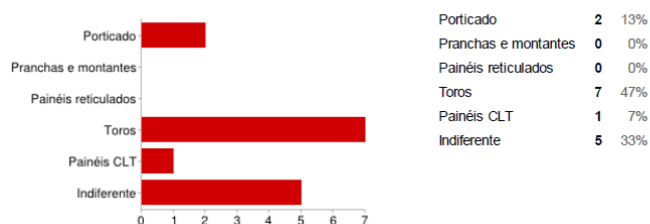
Flexibilidade estilística [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



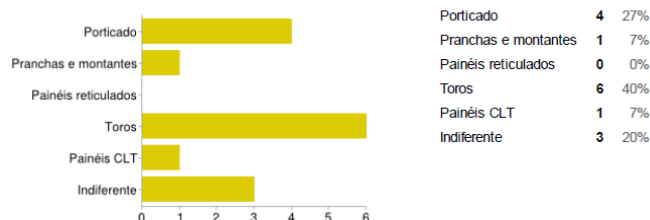
Carácter contemporâneo [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



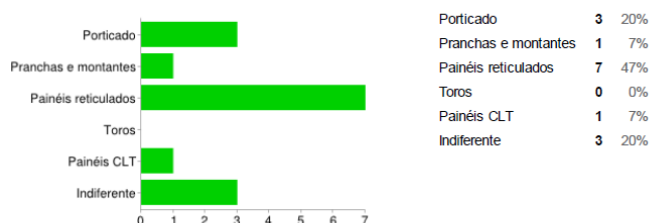
Carácter tradicional [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]



Carácter de verdade estrutural [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]

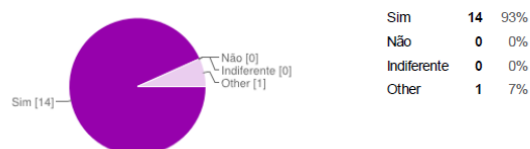


Minimização das cargas nas fundações [7.5. Escolha um sistema estrutural para cada uma das seguintes situações]

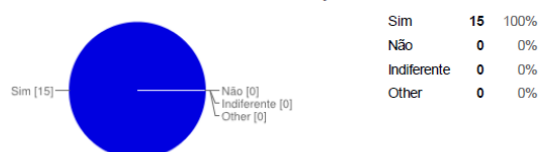


8. Processo de projecto

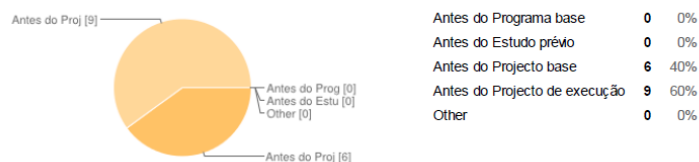
8.1. Concorda que no estudo prévio haja uma consulta, por parte do arquitecto, ao fabricante para obter preços de referência com base em desenhos à escala 1/200 ou 1/100 muito genéricos?



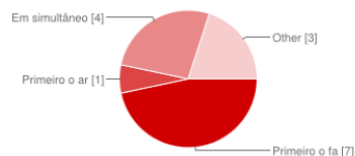
8.2. Concorda que no projecto base (fase de licenciamento) seja realizada uma consulta final às empresas para obter um orçamento com base em desenhos à escala 1/100 já muito desenvolvidos?



8.3. Em que fase deve ser efectuada a adjudicação da obra?



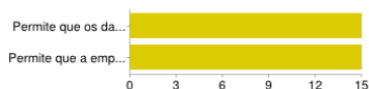
8.4. O projecto de execução deve ser desenvolvido de que forma?



Primeiro o fabricante deve realizar os desenhos de execução da estrutura ou fabrico com base nos quais o arquitecto desenvolverá os desenhos de execução	7	47%
Primeiro o arquitecto deve elaborar o projecto de execução com base no qual o fabricante faz os desenhos de execução da estrutura ou fabrico	1	7%
Em simultâneo	4	27%
Other	3	20%

A entrevista está concluída. Muito obrigado!

Relativamente à divulgação dos dados da entrevista:



Permite que os dados sejam divulgados sem relacionar as respostas com a empresa?	15	50%
Permite que a empresa seja referida como tendo participado neste estudo?	15	50%

Se entender fazer comentários adicionais, serão bem recebidos.

Se pretender receber o resultado das entrevistas, indique por favor um email

sede@fuldex.com geral@ideawood.pt luis.rocha@portilame.com geral@casema.pt hsantos@jular.pt Joacamosimoes@lacecal.pt
logdomus@logdomus.pt geral@carmo.com pedro.teles@loghomes.pt pinhocasa@hotmail.com colicapela@colicapela.pt geral@toscca.com
berta@rusticasa.pt info@novohabitat.com.pt luis.jorge@tisem.pt

Data da entrevista

Apr 2014	10 (2)	11	14	17	22 (2)	23 (2)	24 (2)	25
May 2014	6 (2)	8						

Notas do entrevistador

IDEAWOOD (Arq. Amílcar Rodrigues - Gerente) LOGDOMUS (Elisabete Ferreira - Comercial) TOSCCA (Eng. Pedro Pinhão - Gerente) TISEM (Eng. Luis Jorge - Gerente) COLICAPELA (Eng. Tiago Antunes - Dep. Engenharia) PORTILAME (Eng. Luis Rocha - Gerente) CASEMA (Nuno Rebocho - Gerente) PINHO CASA (Eng. Veaceslav - Gerente) FULDEX (Carlos Silva - Gerente) LACECAL (Arq. João Carmo Simões - Gerente) RUSTICASA (Berta Villas - Comercial) NOVO HABITAT (Sérgio Barbosa - Comercial) CARMO ESTRUTURAS (Arq. Susana Valente - Técnica) LOGHOMES (Arq. Pedro Teles - Gerente) JULAR (Dr. Helder Santos - Gerente)

VIII CITAÇÕES

"We are determined to lead them [the students] into the wholesome world of primal buildings, where every axe stroke meant something and where every chisel cut was a veritable statement. Where does the structural fabric of a building appear with greater clarity than in the wood buildings of our forefathers? Where else is there an equal unity of material, construction, and form? Here lies concealed the wisdom of the entire race. What a sense for the material, and what a power of expression these buildings proclaim. What warmth they radiate and how beautiful they are." (Mies van der Rohe, 2015).

"Timber construction means building elementally according to constructive logic and clear, easily understood laws. (...) Understanding timber construction also opens the way to understand many other construction systems used by architects. (...) Many architecture courses start with timber construction, for this reason." (Steiger, 2007, p. 92).

"Wood is one of the easiest materials to work and one of the most difficult to master." (Alread & Leslie, 2007) *"Wooden buildings have to be constructed, stone buildings can be drawn"* Paul Artaria (Steiger, 2007).

"Where building is concerned, it is certainly not possible to say there exists a better material in the absolute sense. In order to meet a building's numerous needs, a very wide range of materials is available (...); it is therefore a question of making an intelligent choice based on criteria that are not merely of a technical and economic nature but also formal, i.e. in relation to the language of architecture." (Benedetti & Bacigalupi, 1988).

"The Swiss Working Group for Timber Research reveals that property developers, architects and engineers mention aesthetics by far most often as the most potent motivation for utilizing timber." (Gold & Rubik, 2008).

"What is ready to hand has, naturally, been the first to be chosen, and the most widespread material over the whole of our area has been wood." (Raeburn, 1986). *"We are not likely to run out of wood, because unlike most other materials, we can always grow more."* (Hoadley, 2000, p. 4)

"The wood which the carpenters hewed and cut with their great axes seemed to bring the forest itself into the city." (Hansen, 1971, p. 135). *"Brahman was the wood, Brahman the tree from which they shaped heaven and hearth".* in *Taittiriya Brahmana II.8.9.6* (Silveira, 2008).

"A well-thought-out structural concept optimised to meet the needs of the construction as a whole forms the basis for economic structures with a high constructional and architectural relevance." (Kolb, 2008, p. 106).

"Wood-Frame Housing - A North American Marvel." (Canadian Wood Council, 2002). *"Wood has always been America's favourite building material. In some respects, it still is: over 80 per cent of the nations dwelling units are wholly or substantially built of wood. The reasons are not far to seek: on the one hand, wood's unique structural and aesthetic characteristics; on the other hand its abundance and until recent times low cost. It is strong in compression and effective in tension and shear. Easily worked, even by unskilled worksmen using simple tools, it can be chopped, sawn, bored, turned; mortised, nailed, glued and bolted; sanded, planed, polished, painted. Aesthetically, it is one of the most ingratiating of all materials - endlessly varied in color and pattern, warm and silken to touch, in many cases even fragrant. Such properties made it almost the universal building material of preindustrial America."* (Fitch, 1972)

"Considerando que o sistema light framing é um sistema com uma tradição de utilização extensa noutros países, a publicação de um manual de construção em light framing adaptado a Portugal

poderia criar a possibilidade da sua utilização para habitação de baixa densidade de uma forma parametrizada mas adequada a uma escala pequena.” (Almeida, 2010).

“C’est ensuite le caractère esthétique d’une architecture “bien finie” avec notamment des poteaux d’angle aux arêtes lisses, sans habillages supplémentaires, qui plaît au jeune architecte.” (CNDB, 2015). “La trame m’aide à concevoir le plan.” (CNDB, 2015).

“CLT is a cost-competitive wood-based solution that complements existing light and heavy-frame building options. It is a suitable substitute for some building types which currently use concrete, masonry and steel. It is fast to erect, environmentally sound, performs well and represents an important outlet for the forest industry, without disrupting the existing value chain”. (Crespell & Gaston, 2015).

“After several slow years, construction with CLT increased significantly in the early 2000s, partially driven by the green building movement but also due to better efficiencies, product approvals, and improved marketing and distribution channels” (Karacabeyli & Douglas, 2013).

“To design is to solve human problems by identifying them, examining alternate solutions to them, choosing and executing the best solution.” (Ivan Chermayeff) “Systems design comprises a logical series of steps that leads to the best decision for a given set of conditions.” (Ricketts & Meritt, 2000).

“(…) methodical designers in their searching process of designing try to apply systematics and methods which, from previous experiences gives them a greater security for success.” (Eekhout, 2009).

“Never talk to a client about architecture. Talk to him about his children. That is simply good politics. He will not understand what you have to say about architecture most of the time. An architect of ability should be able to tell a client what he wants. Most of the time a client never knows what he wants. He may, of course, have some very curious ideas, and I do not mean to say that they are silly ideas. But untrained in architecture they cannot know what is possible and what is not possible.” (Mies van der Rohe, 2006).

“There are a couple of advantages to working with an architect in designing a large elaborate log home. First of all, there’s availability. (...) You can sit down (...) and watch ideas being sketched as you discuss them. (...) A second advantage is that an architect generally provide more detail than in-house design departments.” (Cooper, 1993)

“Walter Segal was convinced that the best designs will come via an architect who is thoroughly at home with the technical matters involved in a house, and who is in close personal touch with the builder.” (Borer & Harris, 2001).

“We know now that longevity of a wooden structure is closely tied to the quality of the foundation and the roof. The primary cause of wood rot is the propagation of fungi, which require air, water, and nutrients. If a constant damp condition can be avoided, wooden buildings will last an awfully long time. You need “good shoes and a good hat,” said the old-time builders, referring to the foundation and roof I would add, “and good ventilation.” (Roy, 2004, p. 6).

“A pitched roof with sufficiently wide overhangs is the singular design element that can help ensure the long-term durability of wood-frame buildings” (CWC, 2000). “Wood kept under favourable conditions apparently lasts indefinitely.” (Hoadley, 2000, p. 40). “Don’t: (...) expect wood frame buildings to be torn down in 30 years. (...) Do: (...) design as though the building might last 200 years” (CWC, 2000).

“It is the most humanly intimate of all materials. Man loves his association with it, likes to fill it under his hand, sympathetic to his touch and to his eye. Wood is universally beautiful to Man. (...) the beautiful properties of wood may be released by the machine to the hand of the architect. His imagination must use it in true ways - worthy of beauty.” (Frank Lloyd Wright, 1975)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 360 Degrees Vietnam. (10 de Abril de 2015). *Nha Rong - Une part de l'âme des habitants dans les Hauts-Plateaux Vietnam*.
Obtido de Le Blog du Vietnam: <http://360degresvietnam.com/chaque-jour-une-trouvaille/nha-rong-une-part-de-lame-des-habitants-dans-les-hauts-plateaux-vietnam/>
- Affentranger, C. (2005). Building simply with wood. Em C. Schittich, *Building simply* (pp. 27-35). Munchen: Detail - Birkhauser.
- Alcomate Carpintaria e materiais de construção Lda. (14 de Março de 2014). Obtido de Alcomate Carpintaria:
<http://www.alcomate.pt/index.html>
- Allen, E., & Iano, J. (2008). *Fundamentals of building construction - materials and methods*. New Jersey: Wiley - John Wiley & Sons.
- Almeida, P. (2010). *Sistema construtivo de madeira em edifícios de baixa densidade em Portugal - Tese definitiva para a obtenção do grau de doutor no ramo de Arquitectura, especialidade Tecnologia da Arquitectura*. Lisboa: Faculdade de Arquitectura - UTL.
- Alread, J., & Leslie, T. (2007). *Design-Tech - Building science for architects*. Oxford: Elsevier - Architectural Press.
- American Institute of Timber Construction. (2012). *Timber construction manual*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Aparicio Jr, G. W. (2010). *Timber construction and material information exchanges for the design of complex geometric structures*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
- Asensio, N. (2005). *Arquitectura: Madeira*. Savigliano: Edizione Gribaudo - Lisma.
- Barry, R. (1999). *The construction of buildings*. Oxford: Blackwell Science.
- Bartenev, I. (1972). *North Russian architecture*. Progress Publishers: Moscow.
- Bell, S. (2012). *Landscape: Pattern, perception and process*. New York: Routledge.
- Benedetti, C., & Bacigalupi, V. (1988). *Legno Architettura - Il futuro della tradizione*. Roma: Edizioni Kappa.
- Benfield, M. (2011). *Timber in timber framing*. Occasional Publication Series.
- Benoit, Y., & Paradis, T. (2008). *Construction de maisons à ossature bois*. Paris: Éditions Eyrolles.
- Benson, T. (1977). *The timber-frame home*. Newtown: The Taunton Press.
- Bignon, J.-C., & Critt-Crai, N. (2003). *Technologies de construction bois*. Paris: CNDB - Comité National pour le Développement du Bois.
- Bragança, L., & Mateus, R. (17 de Outubro de 2011). SBTool - Adaptation of the Global Adaptation of the Global SBTool to the Portuguese Context. Helsinki: iiSBE Workshop - Helsinki.
- BRE. (2013). *BREEAM International new construction technical manual - SD5075 - 0.0:2013*. Watford: BRE Global Ltd.
- BRE Group. (13 de Dezembro de 2013). *BREEAM*. Obtido de BREEAM - The world leading design and assessment method for sustainable buildings: <http://www.breeam.org/index.jsp>
- Brunskill, R. W. (2000). *Vernacular architecture*. London: Faber and Faber.
- BSI - British Standard Institute. (1997). BS EN 1310:1997. *Round and sawn timber - Method of measurement of features*. BSI - British Standard Institute.
- Buildipedia Staff. (11 de Julho de 2012). *Pole construction*. Obtido de Buildipedia.com:
<http://buildipedia.com/knowledgebase/division-06-wood-plastics-and-composites/06-10-00-rough-carpentry/06-13-00-heavy-timber/06-13-16-pole-construction/pole-construction>
- Butterfield, D. (1984). *Architectural Heritage - The MSTW Planning district*. Winnipeg: Manitob Culture, Heritage and Recreation.
- Butterfield, D. (1988). *Architectural Heritage - The Selkirk and District Area*. Winnipeg: Manitoba Culture, Heritage and Recreation.
- Cachim, P. (2007). *Construções em madeira - A madeira como material de construção*. Porto: Publindústria.
- Caill Junior, C., & Brito, L. D. (2010). *Manual de projecto e construção de estruturas com peças roliças e madeira de reflorestamento*. São Carlos: Universidade de São Paulo.
- Camesasca, E. (1971). *History of the House*. New York: G. P. Putnam's Sons.
- Carmo. (14 de Janeiro de 2012). *Casas de madeira modulares - SMEC*. Obtido de Carmo:
<http://www.carmo.com/pt/estruturas/casas-de-madeira-modulares-smec-sistema-modular-evolutivo-da-carmo>
- Carvalho, A. (1996). *Madeiras Portuguesas - Volume I*. Lisboa: Instituto Florestal.
- Carvalho, A. (1997). *Madeiras Portuguesas - Volume II*. Lisboa: Direcção-Geral das Florestas.

- Casema. (2 de Outubro de 2013). *Casema - Casas especiais de madeira*. Obtido de Casema - Casas especiais de madeira: <http://www.casema.pt/>
- César, S. F. (2002). *Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente - Projeto conceitual - Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito à obtenção do título de Doutor*. Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Chapelot, J., & Fossier, R. (1985). *The village & house in the Middle ages*. Berkeley: University of California Press.
- Ching, F., & Adams, C. (2001). *Técnicas de construção ilustradas*. Porto Alegre: Bookman.
- Chudley, R., & Greeno, R. (2004). *Building construction handbook*. Oxford: Elsevier.
- Clayton, M. J. (1990). *Canadian housing in wood - An historical perspective*. Canada Mortgage and Housing Corporation.
- CMHC. (2001). *Woodframe envelopes in the coastal climate of British Columbia - Best practice guide building technology*. Canadian Mortgage and Housing Corporation.
- CNDB. (29 de Março de 2012). *Systèmes constructifs*. Obtido de CNDB - Le bois avance: http://www.cndb.org/?p=systemes_constructifs
- Coelho, A., Lopes, A., Branco, J., & Gervásio, H. (2012). *Comparative life-cycle assessment of a single-family house: Light steel frame and timber frame*. Green Lines Institute.
- Crouch, D., & Johnson, J. (2001). *Traditions in Architecture - Africa, America, Asia, and Oceania*. Oxford: Oxford University Press.
- Cruz, H., & Nunes, L. (2005). A madeira. Em M. Gonçalves, F. Margarido, & R. Colaço, *Materiais de construção* (pp. 76-94). Lisboa: Loja da Imagem, Arquitectura e Vida, Engenharia e Vida.
- Cruz, H., Yeomans, D., Tsakanika, E., Macchioni, N., Jorissen, A. J., Touza, M., . . . Lourenco, P. B. (2014). Guidelines for the on-site assessment of historic timber structures. *International Journal of Architectural Heritage : Conservation, Analysis, and Restoration*, Vol. 9(2014), No. 3, 277-289.
- CSI - Construction Specifications Institute. (2005). *MasterFormat - 2004 Edition Numbers & Titles*. Toronto: CSI - Construction Specifications Institute Canada.
- Deqi, S. (2004). *Chinese vernacular dwellings*. Beijing: China Intercontinental Press.
- Domingos, J. (2013). *Um sistema de arquitectura modular - Proposta em madeira para o mercado português*. Lisboa: FAUTL.
- Donnelly, M. C. (1992). *Architecture in Scandinavian countries*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Engel, H. (2003). *Sistemas Estruturais*. Barcelona: Gustavo Gili.
- EOTA. (2001). *ETAG 007 - Guideline for european technical approval of timber building kits*. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EOTA. (2002). *ETAG 012 - Guideline for european technical aproval of log building kits*. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EOTA. (2002a). *ETAG 011 - Guideline for european technical approval of Light composite wood-based beams and columns*. Brussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EOTA. (2004). *ETAG 019 - Guideline for european technical approval for prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*. Bussels: European Organisation for Technical Approvals.
- EOTA. (5 de Novembro de 2013). *ETAGs (used as EAD)*. Obtido de EOTA - European Organisation for Technical Assessment: <http://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/>
- Esteves, B. (2014). Utilização e comercialização de madeira modificada. *Seminário Intervir em construções existentes de madeira* (pp. 37-46). Guimarães: Escola de Engenharia, Universidade do Minho.
- FAO. (2012). *Global forest land-use change 1990-2005*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Faria, F. (1997). *Análise dos sistemas construtivos portugueses*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ferreira, V. (2009). *Viabilidade técnico-económica de construções de madeira em Portugal*. Lisboa: Instituto Superior Técnico - UTL.
- Firrone, T. (2010). *Il legno: Tradizione e innovazione*. Roma: Aracne.
- Fitch, J. (1972). *American building - 2: The environmental forces that shape it*. Boston: Houghton Mifflin Company Boston.
- Fleming, E. (2005). *Construction Technology*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Frank Lloyd Wright. (1975). *In the cause of Architecture [1928]*. New York: McGraw-Hill.
- Fritz Durán, A. (2004). *Manual - la construcción de viviendas en madera*. Santiago de Chile: Centro de Transferencia Tecnológica - Corporación Chilena de la Madera.

- FSC. (2011). *Princípios FSC - Gestão Florestal*. Bonn: FSC - Forest Stewardship Council.
- FSC. (18 de Dezembro de 2013). *Sobre o FSC*. Obtido de AGFR - Associação para uma Gestão Florestal responsável: http://www.pt.fsc.org/sobre_o_fsc.html
- Fu, P., Chapman, J., & Vale, B. (2002). Timber in ancient China - Wood work and wood processing as recorded in ancient texts. *New Zealand timber design journal*, issue 3, volume 12, 3-10.
- German Timber. (2006). *The world of timber*. Bonn: Holzabsatzfonds.
- Gold, S., & Rubik, F. (23 de Agosto de 2008). Consumer attitudes towards timber as a construction material and towards timber frame houses - Selected findings of a representative survey among the German population. *Journal of cleaner production* 17, pp. 303-309.
- Gonçalves, H., & Graça, J. M. (2004). *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*. Lisboa: INETI.
- Grohe, G. (Julho de 2001). El futuro de la construcción con madera. *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, pp. 28-37.
- Groombridge, B., & Jenkins, M. D. (2002). *World atlas of biodiversity - Earth's living resources in the 21st century*. Berkeley: University of California Press, UNEP, WCMC.
- Hakansson, S.-G. (2003). *From log to log-house*. Ottawa: Algrove Publishing.
- Hansen, H. J. (1971). *Architecture in wood*. London: Faber and Faber.
- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M., & Winter, W. (2008). *Timber construction manual*. Basel: Birkhauser - Edition Detail.
- Hoadley, R. (2000). *Understanding Wood - A craftsman's guide to wood technology*. Newtown, CT: The Tauton Press.
- Hopkin, D. J. (2011). *The fire performance of engineered timber products and systems*. Loughborough: Loughborough University.
- Hozumi, K. (1985). *What is Japanese architecture?* Tokyo: Kodansha International.
- Hvass, S. (2011). *Jelling-Monumentene – deres historie og bevaring*. Jelling: Kulturarvsstyrelsen.
- IGFEJ-IP. (29 de Outubro de 2013). *Acórdão do Tribunal da Relação de Évora - 1070/09.1TBLLE.E1*. Obtido de Bases Jurídico-Documentais: <http://www.gde.mj.pt/jtre.nsf/c3fb530030ea1c61802568d9005cd5bb/3a728219582d1dfc802578cb003d1df0?OpenDocument>
- Janse, B. (1994). *Building Amsterdam*. Amsterdam: DE Brink.
- Jerónimo, R. (2009). *Construção em madeira - Exigências para a certificação energética*. Lisboa: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil.
- Jones, J. (1986). *Handbook of construction contracting – volume 1*. U.S.A.: Craftsman Book Company.
- JULAR. (2010). *Treehouse*. Obtido em 10 de 01 de 2013, de Treehouse: <http://www.treehouse.pt/?lang=pt>
- JULAR. (2010a). *Casas modulares Treehouse*. Obtido em 10 de 01 de 2013, de JULAR - Madeiras: http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=326
- JULAR. (6 de Julho de 2015). *Vigas em Madeira Maciça*. Obtido de Jular: http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=224
- Kalman, H. (1994). *A History of Canadian Architecture - Volume 2*. Toronto: Oxford University Press.
- Kalman, H. (1995). *A History of Canadian Architecture - Volume 1*. Toronto: Oxford University Press.
- Kamar, K., Hamid, Z., Azman, M., & Ahmad, M. (2011). Industrialized Building System (IBS): Revisiting Issues of Definition and Classification. *Int. J. Emerg. Sci.*, 120-132.
- Knapp, R. (2000). *China's old dwellings*. Honolulu: University of Hawai'i Press.
- Knapp, R. (2005). *Chinese houses*. North Claredon: Tuttle.
- Kolb, J. (2008). *Systems in timber engineering*. Basel: Birkhauser.
- Kostov, S. (1995). *A History of Architecture*. New York: Oxford University Press.
- Larsson, N. (2012). *User Guide to the SBTool assessment framework*. iISBE.
- Le Duc, V. (1864). *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle - Tome septième*. Paris: A. Morel.
- Ledohowski, E., & Butterfield, D. (1983). *Architectural heritage - The Western Interlake planning district*. Winnipeg: Department of Cultural Affairs and Historical Resources.
- Lerley, M. (1999). *Open house - A guide tour of the American home 1637 - Present*. New York: Henry Holt and Company.

- Negrão, F., & Faria, A. (2009). *Projecto de estruturas de madeira*. Porto: Publindústria.
- Neufert, E., & Neufert, P. (2002). *Architects' Data*. Oxford: Blackwell Science.
- Nitschke, G. (2002). Architecture and aesthetic of an island people. Em C. Schittich, *Japan - Architecture constructions ambiances* (pp. 14-30). München, Basel: Detail, Birkhäuser.
- Nunes, L. (2007). Degradação da madeira aplicada na construção: a acção dos fungos. *Construção Magazine* nº 20, 64-69.
- Nunes, L. (2013). Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira. Em H. Cruz, L. Nunes, P. Lourenço, & J. Branco, *Casas de madeira - Seminário* (pp. 29-38). Lisboa: LNEC, EE-UM, ISISE.
- Oliver, P. (1987). *Dwellings - The house across the world*. Austin: University of Texas Press.
- Olson, D. M., & et al. (2001). Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *BioScience*, 51 (11), 933-938.
- Opolonikov, A., & Opolnikova, Y. (1989). *The wooden Architecture of Russia*. New York: Harry N. Abrahams.
- Panico, R. (Outubro de 2007). Modular System ww (world wide) 2003/2007. *Arquitectura Híberica - Habitar*, pp. 80-95.
- Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia. (2010). *Obrigações dos operadores que colocam no mercado madeira e produtos da madeira - Jornal Oficial da União Europeia PT 12.11.2010*. Bruxelas, União Europeia: União Europeia.
- Parlamento Europeu; Conselho da União Europeia. (2011). *Condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção - Jornal Oficial da União Europeia PT - 4.4.2011*. Bruxelas, União Europeia: União Europeia.
- Pedrosa & Irmãos, L. (12 de Novembro de 2013). *Madeira serrada*. Obtido de Pedrosa & Irmãos, LDA.: <http://pedrosairmaos.com/madeira-serrada>
- PEFC. (19 de Dezembro de 2013). *PEFC - Portugal*. Obtido de Normas para a Gestão Florestal Sustentável: <http://www.pefc.pt/certificacao-gfs/norma-gfs>
- PEFC. (19 de Dezembro de 2013a). *Norma Cadeia de Responsabilidade*. Obtido de PEFC Portugal: <http://www.pefc.pt/certificacao-cdr/norma-cdr>
- Peraza Sánchez, J., Arriaga Martitegui, F., Arriaga Martitegui, C., Gonzáles Alvarez, M., Peraza Sánchez, F., & Rodríguez Nevado, M. (1995). *Casas de madera - Sistemas constructivos a base de madera aplicados a viviendas unifamiliares*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho.
- Pickartz, B. (3 de Março de 2012). *Timber frames*. Obtido de LinkedIn: http://www.linkedin.com/groups/We-are-all-asked-difference-2829487.S.99020147?qid=058b6ef3-2ddc-42df-aafe-1551e8cf42d7&trk=group_items_see_more-0-b-ttl
- Pinheiro, M. D. (2010). *Manual para projectos de licenciamento com sustentabilidade segundo o sistema LiderA - Síntese executiva*. Lisboa: LiderA.
- Porteous, J., & Kermani, A. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Portugal. (2006). Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos. *Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de Agosto*. Diário da República, 1.ª série - N.º 152 - 8 de Agosto de 2006.
- Portugal. (2007). Regulamento geral do ruído. *Diário da República, 1.ª série - n.º 12 - 17 de Janeiro de 2007*. Diário da República, 1.ª série—N.º 12—17 de Janeiro de 2007.
- Portugal. (2007a). Autorizações especiais de trânsito (RAET). *Portaria n.º 472/2007*. Diário da República, 2.ª série - N.º 119 - 22 de Junho de 2007.
- Portugal. (2008). Regulamento geral das edificações urbanas. *Decreto-Lei n.º 38.382 de 7 de Agosto de 1951 (com as alterações até ao Decreto-Lei n.º 220/2008 de 12 de Novembro)*. Lisboa, Portugal: Diário da República, 1.ª Série.
- Portugal. (2008c). Regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. *Decreto-Lei n.º 129/2002 de 11 de Maio*. Diário da República, 1.ª série - N.º 110 - 9 de Junho de 2008.
- Portugal. (2008d). Regulamento técnico de segurança contra incêndio. *Portaria n.º 1532/2008 de 29 de Dezembro*. Portugal: Diário da República, 1.ª série - N.º 250 - 29 de Dezembro de 2008.
- Portugal. (2008e). Código dos contratos públicos. *Decreto-Lei n.º 18/2008 de 29 de Janeiro*. Diário da República, 1.ª série — N.º 20 — 29 de Janeiro de 2008.
- Portugal. (2009). Regime jurídico que estabelece a qualificação profissional exigível aos técnicos responsáveis pela elaboração e subscrição de projectos. *Lei n.º 31/2009 de 3 de Julho*. Portugal: Diário da República, 1.ª série - n.º 127 - 3 de Julho de 2009.
- Portugal. (2010a). Regime jurídico da urbanização e da edificação. *Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de Dezembro (com as alterações até ao Decreto-Lei N.º 26/2010 de 30 de Março)*. Diário da República, 1.ª série - n.º 62 - 30 de Março de 2010.
- Portugal. (2010b). Regulamento que fixa os pesos e as dimensões. *Decreto-Lei n.º 133/2010*. Diário da República, 1.ª série - N.º 246 - 22 de Dezembro de 2010.

- Portugal. (2010c). *Regulamento Municipal de Urbanização, Edificação, Taxas e Compensações Urbanísticas*. Diário da República, 2.ª série - N.º 175 - 8 de Setembro de 2010.
- Portugal. (2011). Regime geral da gestão de resíduos. *Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho*. Diário da República, 1.ª série — N.º 116 — 17 de Junho de 2011.
- Portugal. (2013). Parâmetros para o zonamento climático. *Despacho n.º 15793-F/2013*. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de Dezembro de 2013.
- Portugal. (2013a). Metodologia de determinação da classe de desempenho energético. *Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de Novembro*. Diário da República, 1.ª série — N.º 232 — 29 de novembro de 2013.
- Portugal. (2013b). Regras de derinação da classe energética. *Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013*. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013.
- Portugal. (2013c). Sistema de certificação energética dos edifícios. *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de Agosto*. Diário da República, 1.ª série - n.º 159 - 20 de Agosto de 2013.
- Portugal. (2013d). Cálculo das necessidades energéticas. *Despacho n.º 15793-I/2013*. Diário da República, 2.ª série - N.º 234 - 3 de dezembro de 2013.
- Portugal. (2013e). Condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção. *Decreto-Lei n.º 130/2013 de 10 de Setembro*. Diário da República, 1.ª série - n.º 174 - 10 de Setembro de 2013.
- Premrov, M. (2008). Timber frame houses. *Handbook 1 - Timber structures*, 180-198.
- Provost, P.-J. (2010). *Construire sa maison en bois*. Paris: Éditions du Chêne - Hachet - Livre.
- Pryce, W. (2005). *Architecture in wood*. London: Thames & Hudson.
- Queirós, M., & Mascaranhas, M. (1981). Biologia. Em S. d. Digest, *Dicionário enciclopédico* (p. 152). Lisboa: Selecções do Reader's Digest.
- Raeburn, M. (1986). *Architecture of the western world*. London: Orbis publishing.
- Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. London: Prentice-Hall International.
- Risebero, B. (1979). *The story of western Architecture*. New York: Charles Scribner's Sons.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). *Técnica de edifícios*. Alfragide: Edições Orion.
- Rodriguez Nevado, M. (1999). *Diseño estructural en madera*. Madrid: AITIM - Asociación de Investigación de las Técnicas de las Industrias de la Madera y del Corcho.
- Roede, L. (1999). Grindbygg og bindingsverk. *NIKU-seminar om grindbyggde hus* (pp. 112-121). Oslo: NIKU Norsk institutt for kulturminneforskning.
- Roselló, G. (2001). El futuro de la construcción en madera. *Tectonica 13 - Madera (II) estructuras*, 31-32.
- Roth, H. (10 de Abril de 2015). *The natives of Sarawak and British North Borneo*. Obtido de Forgotten Books: http://www.forgottenbooks.com/readbook/The_Natives_of_Sarawak_and_British_North_Borneo_v1_1000576417?highlight=longhouse
- Roy, R. (2004). *Timber frame for the rest of us*. Gabriola Island: New Society Publishers.
- Rusticasa. (14 de Janeiro de 2013). FAQs. Obtido de Rusticasa: <http://www.rusticasa.pt/faqs.php?lang=pt&faq=10>
- Santos, A. (2008). *Comportamento térmico e acústico de pré-fabricados de madeira*. Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil.
- Santos, J. A., Duarte, M. C., Santos, J. M., & Luis, P. (2011). Bem utilizar madeiras portuguesas na construção/reabilitação. *CIMAD 11 - 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal*. Coimbra: Universidade de Coimbra.
- Sanz, F., & Et al. (2007). *Aplicações industriais do Pinho bravo*. Porto: AIMMP.
- Savage, V., & Lee, M. (1984). *A field guide to American houses*. New York: Alfred A. Knopf.
- SCBD. (2001). *Global biodiversity outlook*. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity.
- Schein, E. (1968). *The influence of design on exposed wood in buildings of the Puget Sound area*. Portland: US Department of Agriculture Forest Service.
- Schierle, G. (2006). *Architectural structures - Excerpts*. Los Angeles: University of Southern California.
- Schmithüsen, F. (Janeiro de 2013). Three hundred years of applied sustainability in forestry. *Unasylva - Vol. 64 - n.º 240*, pp. 3-11.
- Schmitt, H. (1978). *Tratado de construcción*. Barcelona: Gustavo Gili.

- Seco, J. F.-G., García, M. C., Diéguez, J. J., Garrido, B. A., & García, M. C. (2013). *Curso clasificación de madera para uso estructural*. Madrid: INDITECMA - Innovación, desarrollo e investigación en tecnología de la madera.
- Sigurðardóttir, S. (2012). *Traditional building methods*. Skagafljóður: Skagafljóður Heritage Museum.
- Silva, J. (2007). *Guia de Campo - As árvores e arbustos de Portugal Continental*. Lisboa: Público, Comunicação Social, SA.
- Silva, R., & Ino, A. (2008). Habitação econômica no Brasil: Estado da arte. *XI Encontro brasileiro em madeira e estruturas de madeira*. Londrina: Ebramem.
- Silveira, A. C. (2008). *Lived heritage, shared space - The courtyard house of Goa*. New Delhi: Yodapress.
- Skre, D. (1996). Rural settlements in medieval Norway, AD 400-1400. *RURALIA I, Památky archeologické - Supplementum 5, Praha*.
- Smith, R. (2011). *Prefab Architecture: a guide to modular design and construction*. New Jersey: Wiley.
- Staib, G., Dörrhöfer, A., & Rosenthal, M. (2008). *Components and systems - Modular construction, design, structures, new technologies*. Basel: Birkhäuser Verlag.
- Steane, M. (2004). Building in the climate of the New World: A cultural or environmental response? *TDSR, Volume XV, issue II*, 49-60.
- Steele, J. (2009a). *The Greenwood encyclopedia of homes through world History - Volume I*. Westport - London: Greenwood Press.
- Steele, J. (2009b). *The Greenwood encyclopedia of homes through world History - Volume II*. Westport - London: Greenwood Press.
- Steiger, L. (2007). *Timber construction*. Basel: Birkhauser.
- Shapitanonda, N., & Mertens, B. (2006). *Architecture of Thailand*. London: Thames & Hudson.
- Suikkari, R. (2001). Wooden town tradition and town fires in Finland. *TAM/ARCCHIP, Ariadne 4, Vulnerability of cultural heritage to hazards and prevention measures, 18-24 August* (pp. 1-14). Czech Republic: Ei Jufo-kustantaja/Not Jufo publisher .
- Sunnfjord Museum. (13 de Janeiro de 2014). *Byggeteknikkar*. Obtido de Hus og byggeskikk i Sunnfjord: <http://byggeskikk.sunnfjord.museum.no/node/3>
- Team cem+nem-. (13 de Janeiro de 2013). *Cem+nem-*. Obtido de Cem+nem-: <http://www.casasemmovimento.com/>
- Thanoon, W., Peng, L. W., Kadir, M. R., Jaafar, M. S., & Salit, M. S. (2003). The essential characteristics of industrialised building system. *International Conference on Industrialised Building Systems*, (pp. 283-292). Kuala Lumpur.
- Torres, J. (2010). *Sistemas construtivos modernos em madeira*. Porto: Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto.
- Toscca. (2010). *Casas Toscca Soluções em madeira*. Obtido em 15 de 01 de 2013, de Toscca: <http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf>
- TRADA, & IStructE. (2007). *Manual for the design of timber building structures to Eurocode 5*. London: IStructE - Institute of Structural Engineers.
- Turan, M. (2009). Reconstructing the balloon frame: A study in the History of architectonics. *METU Journal of the Faculty of Architecture, vol. 26, issue 2*, 175-209.
- U.S. Green Building Council. (2013). *LEED for Homes Rating System - (2008 Version)*. Washington DC: U.S. Green Building Council.
- Ulrich, R. (2007). *Roman woodworking*. New Haven: Yale University Press.
- UNEP, & WCMC. (22 de Outubro de 2013). *Global distribution of current forests*. Obtido de Forests and Drylands Programme - Forests homepage: http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/afrika/africa_forest/www.unep_wcmc.org/forest/global_map.htm
- UNEP-WCMC, WWF, WRI, & IFP. (2009). *Global ecological forest classification and forest protected area gap analysis*. Freiburg: Freiburg University Press.
- UNESCO. (13 de Janeiro de 2014). *Del 1: Verdskulturmínnið Bryggen*. Obtido de Hordaland Fylkeskommune: <http://www.hordaland.no/Aktuelt/Arkiv-nyhende/2005/Januar/Forvaltningsplan-for-verdskulturmínnið-Bryggen/>
- USDA Forest Service. (2010). *Wood handbook - Wood as an engineering material*. Madison: United States Department of Agriculture Forest Service.
- Uva, J. (2013). *6.º Inventário florestal nacional - Áreas dos usos do solo e das espécies florestais de Portugal (vers. 1.1)*. Lisboa: Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas.
- Valentim, J.-L. (2009). *Le colombage mode d'emploi*. Paris: Eyrolles.

- Vallet, E. (2002). *As florestas na Europa - Bloco 5*. Conselho Europeu de Jovens Agricultores.
- van der Rohe, L. M. (01 de Novembro de 2015). *Banquet speech*. Obtido de Mies van der Rohe Society: <http://www.miessociety.org/speeches/banquet-speech/>
- Vasconcelos, G., Lourenço, P., & Poletti, E. (2013). An overview on the seismic behaviour of timber frame structures. *Proceedings of the 1st international symposium on Historic earthquake-resistant timber frames in the Mediterranean region*. Cosenza: H.Ea.R.T.2013.
- Vintzileou, E. (2011). Timber-reinforced structures in Greece: 2500 BC–1900 AD. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Structures and Buildings* 164 June 2011 Issue SB, 167-180.
- Walker, L. (2002). *American homes - An illustrated encyclopedia of domestic architecture*. New York: Black Dog & Leventhal Publishers.
- Watson, D., Crosbie, M., & Callender, J. (1999). *Time saver standards for architectural design data*. New York: Mc Graw Hill.
- Wing, C. (2009). *The visual handbook of building and remodeling - A comprehensive guide to chose the right materials and systems for every part of your home*. Newtown: The Taunton Press.
- Woodenquark. (18 de Janeiro de 2013). *Woodenquark - Habitação modular em madeira*. Obtido de Woodenquark: http://www.woodenquark.com/woodenQuark_-_Habitacao_Modular_em_Madeira_-_TEMP/Inicio.html
- Young, M. (2007). *The art of Japanese Architecture*. Tokyo: Tuttle Publishing.
- Zhang, Z. (2000). Traditional Chinese buildings and their performance in earthquake. *International Conference on the Seismic Performance of Traditional Buildings Istanbul, Turkey, Nov. 16-18, 2000*. Istambul: UNESCO, ICOMOS, Republic of Turkey Ministry of Culture.

ÍNDICE DAS FIGURAS

Fig. 1 - Representações tectiformes pré-históricas encontradas em diversas grutas (http://nicole.rolin.pagesperso-orange.fr/prehistoire/Pages/Les%20tectiformes.htm).....	1
Fig. 2 - Conjectura sobre abrigos do Homo Erectus em Nice, França (http://www.studyblue.com/notes/note/n/hist-of-arch-midterm/deck/798).....	1
Fig. 3 - Gravuras de Val Camonica representando estruturas porticadas e reticuladas (Camesasca, 1971).....	2
Fig. 4 - Reconstituição de uma <i>canabae</i> (habitação) de Argentorom, segundo T. Logel (http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC_7%20(70).pdf).....	3
Fig. 5 - <i>Opus craticium</i> romano (https://www.yumpu.com/it/document/view/15931958/opus-craticium-universita-degli-studi-di-firenze).....	3
Fig. 6 - Biskupin, Polónia - Aldeia fortificada em madeira (750-500 AC).....	4
Fig. 7 - Estrutura de paredes pesadas em Biskupin, Polónia (Hansen, 1971).....	4
Fig. 8 - Modalidades de estruturas de paredes leves (Chapelot & Fossier, 1985).....	5
Fig. 9 - Reconstrução de uma "casa grande em Fyrkat, Dinamarca (Hvass, 2011).....	5
Fig. 10 - Princípios estruturais na Noruega: estrutura mista, paredes pesadas de toros e construção porticada (Hansen, 1971).....	6
Fig. 11 - <i>Stabbur</i> em Fijian Numedal Norway - in Nicolay Nicolaysen (1817-1911): Kunst og Haandverk i Norges Fortid (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stabbur_in_Fijian_Numedal_Norway_drawing.jpg).....	7
Fig. 12 - Stove de Rauland, Uvdal, no Leste da Noruega (séc. X-XI) Planta com três compartimentos com loft (Skre, 1996).....	8
Fig. 13 - Loft de 1681 em Valle, Setesdal 1890s (http://polarbearstale.blogspot.pt/2012/05/setesdal-norway.html).....	8
Fig. 14 - Bryggen durante a II guerra mundial (http://de.wikipedia.org/wiki/Widerstand_gegen_den_Nationalsozialismus).....	9
Fig. 15 - Edifícios de Cristiania (Oslo), séc. XVIII (Roede, 1999).....	9
Fig. 16 - Detalhes da construção porticada com pranchas e régua de revestimento, em Bryggen, Noruega (UNESCO, 2014).....	10
Fig. 17 - Três sistemas vernaculares dominantes na Suécia: as paredes pesadas, as paredes leves de pranchas e os reticulados pesados (Bell, 2012).....	11
Fig. 18 - Habitação rural em Scania, Suécia com reticulados pesados - Casa Lars and Eva Stromberg (http://www.skanskagardar.se/bladet/4-1999.pdf).....	11
Fig. 19 - Casa revestida com terra vegetal (torfhús) na Islândia (http://icelandweatherreport.com/speaking-of-turf-houses/).....	12
Fig. 20 - Corte de construção de porticado de madeira revestido a trufa, na Islândia (Sigurðardóttir, 2012).....	12
Fig. 21 - Casa "cruck frame" de secções ligeiras - Lancashire (Mercer, 1975).....	13
Fig. 22 - Estrutura "cruck frame" (Mercer, 1975) (Risebero, 1979).....	13
Fig. 23 - Tipos de reticulados pesados em função dos painéis utilizados nas paredes (Mercer, 1975).....	14
Fig. 24 - Little Moreton Hall, Cheshire (século XV) (http://farm6.staticflickr.com/5175/5523666222_404feb3480_o.jpg).....	15
Fig. 25 - Habitação do tipo "Open hall" (Mercer, 1975).....	15
Fig. 26 - Pitchford Hall, Shropshire (http://www.philaprintshop.com/images/hallpitchford.jpg).....	16
Fig. 27 - Feathers Inn, Ludlow, 1603 (http://www.fromoldbooks.org/Holme-ArtInEngland/pages/011-the-feathers-inn-ludlow/629x863-q90.html).....	16
Fig. 28 - Desmontagem de uma "Wealdon house" (http://www.wealddown.co.uk/images/stories/magazines/2000s/2007%2004%20WDOAM%20Magazine.pdf).....	17
Fig. 29 - Perspectiva de uma "Wealden house" (http://www.openairclassroom.org.uk/Further%20information/information-the%20wealden%20house.htm).....	17
Fig. 30 - Estrutura de casas de madeira na Holanda (séc. XVII e XVI). Alçados de casas na Bélgica e na Holanda (séc. XVI) (Hansen, 1971).....	18
Fig. 31 - Desenhos de fachada de reticulados pesados de Viollet Ide Duc (construção do séc. XIII) (Le Duc, 1864).....	19
Fig. 32 - Maison d'Adam (séc. XV) (http://www.cosmovisions.com/monuAngers.htm).....	20
Fig. 33 - Maison d'Adam (Valentim, 2009).....	20
Fig. 34 - Maison Kammerzell, 1589 (http://usuc.fr/Projets/cpa/pics/2007Septembre/070920-0263.jpg).....	20
Fig. 35 - Maison du Marensin em Les Landes de Gascogne (Valentim, 2009).....	21
Fig. 36 - Maison du Perthois, em Champagne (Valentim, 2009).....	21
Fig. 37 - Edifício de quinta no Pays d'Auge (Valentim, 2009).....	21
Fig. 38 - Casa rural da Baixa Saxónia - Fachhallenhaus - Das altsächsische Bauernhaus, Willi Pessler, Braunschweig, 1906 (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Schnitt_Niedersachsenhaus.png).....	22
Fig. 39 - Casa rural da Floresta Negra - Schwarzwaldhaus, Ehepaar in Landestrachten, Reetdach (http://www.akpool.co.uk/postcards/24415060-postcard-schwarzwaldhaus-ehepaar-in-landestrachten-reetdach).....	23
Fig. 40 - Estrutura de uma casa da Floresta Negra (http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm).....	23
Fig. 41 - Modelos de "fachwerk" do século XVI: Norte "Saxónico", Central Oeste "Francónio" e Sul "Alemânico" (http://home.arcor.de/mark.oehler/Holzbau/Fachwerk.htm).....	24
Fig. 42 - Construção tipo "umgebindekonstruktion" (http://www.isb-wehner.de/umgebinde/konstruktion.htm).....	25
Fig. 43 - Knochenhaueramtshaus em Hildesheim, Baixa Saxónia (http://www.uni-muenster.de/Staedtegeschichte/portal/einfuehrung/aspekte/zuente.html).....	25
Fig. 44 - Litografias de dois tipos de Chalet, por Jacques Rothmüller, 1825 (http://rh19.revues.org/1099).....	26
Fig. 45 - Izba na província de Kostroma, Russia. 1872 (http://www.slavorum.com/forum/index.php?topic=2179.30).....	27
Fig. 46 - Izba em Serecka, Karelia (Opolonikov & Opolnikova, 1989).....	28
Fig. 47 - Casas do Oeste da Ucrânia (Kalman, 1994, p. 511).....	28
Fig. 48 - Casa Hutsul (http://www.encyclopediaofukraine.com/alphasearch.asp?q=Hutsul).....	29
Fig. 49 - Quinta Hutsul (http://www.rusyn.org/rusyns-architecture.html).....	29
Fig. 50 - Esquema estrutural de casa típica do centro de Lefkada, Grécia (Vintzileou, 2011).....	30
Fig. 51 - Objectivo da estrutura secundária do piso térreo das estruturas em Lefkada (Vintzileou, 2011).....	30
Fig. 52 - Fachada e planta do Yali Hüseyin Köprülü Pasha (http://web.mit.edu/4.611/www/L16.html).....	31
Fig. 53 - Yali no Bósforo, com reticulados pesados (http://regencytales.blogspot.pt/2013/08/a-home-for-my-hero_11.html).....	31
Fig. 54 - Estrutura da casa Fairbanks, Dedham, Massachusetts - 1636 (Clayton, 1990).....	32
Fig. 55 - Casa Fairbanks (http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fairbanks_house_dedham.jpg).....	32
Fig. 56 - Casa Inglesa com reticulados pesados (Benson, 1977).....	33
Fig. 57 - Casa colonial Americana com porticados (Benson, 1977).....	33

Fig. 58 - Jethro Coffin House, Sunset Hill, Nantucket, Nantucket County, MA (Historic American Buildings Survey) (http://www.loc.gov/pictures/item/ma0320.photos.074440p/res)	34
Fig. 59 - Esquema da adição de uma Saltbox (Walker, 2002)	34
Fig. 60 - Estrutura porticada tipo "timber frame" da América do Norte (Benson, 1977)	35
Fig. 61 - Distribuição espacial de uma casa de colono na América do Norte (século XVII) (Benson, 1977)	35
Fig. 62 - Johannes Van Nuyse-Magaw House, Brooklyn, Kings County, NY. (http://www.loc.gov/pictures/item/ny0251.photos.116849p/resource/)	36
Fig. 63 - Parlange Plantation, State Highway 93, New Roads, Pointe Coupee Parish, (http://www.loc.gov/pictures/item/la0022.photos.073222p/resource/)	36
Fig. 64 - Mount Vernon, Mount Vernon Memorial Highway, Mount Vernon, Fairfax County, VA (http://www.loc.gov/resource/hhh.va0436.photos?st=gallery)	37
Fig. 65 - Kingscote, Bellevue Avenue & Bowery Street, Newport, Newport County, RI. Vista Sudoeste (http://www.loc.gov/item/ri0060/)	37
Fig. 66 - Evolução dos sistemas construtivos na Casa Americana: Post and Girt, Braced Frame, Balloon-frame, Platform frame (Savage & Lee, 1984)	38
Fig. 67 - Estrutura da casa Fairbanks (Lerley, 1999)	39
Fig. 68 - John N. A. Griswold House - Arq. Richard Morris Hunt 1864. - Exemplo do Stick Style (Walker, 2002)	39
Fig. 69 - David Gamble House 1907 (Makinson & Heinz, 2004)	40
Fig. 70 - Henry Greene House, 1904 (Makinson & Heinz, 2004)	40
Fig. 71 - Construção "Tilt" com toros verticais em Newfoundland Canada (Clayton, 1990)	41
Fig. 72 - Pormenores do sistema "Poteaux en coulisse" de uma casa no Québec, Canadá (Clayton, 1990)	41
Fig. 73 - Red River Frame em Red River (Butterfield, 1988)	42
Fig. 74 - Red River Frame. Esquemas de junção no canto (Butterfield, 1988)	42
Fig. 75 - Sistemas de paredes no Quebec: <i>Colombage pierroté, Colombage ou pieux sur sole, Pièce sur pièce à queue d'aronde</i> e <i>Pièce sur pièce à tenon en coulisse</i> (Lessard & Vilandré, 1974)	43
Fig. 76 - Roland house, Alberta, 1903 (Kalman, 1994)	44
Fig. 77 - Summers house, Alberta, 1902 (Kalman, 1994)	44
Fig. 78 - Casa MacArthur perto de Little Britain, Manitoba com reticulados leves (1910) (Butterfield, 1988)	45
Fig. 79 - Ligações entre elementos na construção Chinesa (Zhang, 2000)	47
Fig. 80 - Ligações de estruturas de madeira nas ruínas Neolíticas de Hemud na China (Zhang, 2000)	47
Fig. 81 - Sistemas: Tailliang, Chuandou e Ganlan (Knapp R., 2000)	48
Fig. 82 - Abrigo de toros nas montanhas Altai (Knapp R., 2000)	49
Fig. 83 - Habitação do tipo Ganlan (Knapp R., 2000)	49
Fig. 84 - Abrigo escavado Yayoi com esquema conjectural e Espigueiro elevado Yayoi com detalhes (Hozumi, 1985)	50
Fig. 85 - Diversidade de Minkas (casas do povo) dos séculos XVII ao século XVII (Hozumi, 1985)	51
Fig. 86 - Casa Fujiwara-no-Toyonari do período Nara - Pré estilo Shinden (Hozumi, 1985)	52
Fig. 87 - Residência Dempodo - Pré estilo Shinden (Hozumi, 1985)	52
Fig. 88 - Kojin Hall dos convidados, Onjoji 1600 - Estilo Shoin (Hozumi, 1985)	53
Fig. 89 - Palácio Katsura, Quioto - Estilo Sukiya (Hozumi, 1985)	53
Fig. 90 - Estrutura porticada tradicional genérica (Young, 2007)	55
Fig. 91 - Seison-Kaku em estilos Shoin no piso térreo e Sukiya no piso superior (Young, 2007)	55
Fig. 92 - Kuren do Bali (May, 2010b)	56
Fig. 93 - Tipos da ilha de Sumatra (Crouch & Johnson, 2001)	56
Fig. 94 - Casa comprida dos Iban no Borneo. (Roth, 2015)	57
Fig. 95 - Casa Batak na ilha de Sumatra (Steele, 2009a)	57
Fig. 96 - Casas <i>tongkonan</i> dos Toraja na aldeia de Palawa e casa em construção - Sul da Ilha Sulawesi (Oliver, 1987)	58
Fig. 97 - Casa Thai e detalhes de pavimento, beirado e ligação pilar viga (Sthapitanonda & Mertens, 2006)	59
Fig. 98 - Casa Thai do Sul (Sthapitanonda & Mertens, 2006)	60
Fig. 99 - Casa Thai do Norte (Sthapitanonda & Mertens, 2006)	60
Fig. 100 - Casa dos Bahnar - Vietnam (360 Degrees Vietnam, 2015)	61
Fig. 101 - Casa de madeira em Queensland, Austrália, cerca de 1875 (http://www.flickr.com/photos/statelibraryqueensland/5035192676/in/photostream/)	62
Fig. 102 - Refugiado Moçambicanos constroem abrigos tradicionais na Tanzânia (Oliver, 1987)	62
Fig. 103 - Distribuição global das florestas actuais (UNEP & WCMC, 2013). 1 e 2 - Florestas boreais e temperadas de coníferas; 3 a 8 - Florestas temperadas de folhosas e mistas; 14 a 22 - Florestas tropicais húmidas; 23 a 25 - Florestas tropicais secas; 9 e 26 - Floresta escassa e parques; 10 e 27 - Plantações exóticas; 11 e 28 - Espécies nativas; 12 e 13 - Plantações não especificadas ou florestas não classificadas	96
Fig. 104 - Zonas de principais tipos de Florestas (SCBD, 2001)	97
Fig. 105 - Eco-regiões com 14 biomas e 8 tipos de floresta. Sistema adoptado pelo WWF (Olson & et al., 2001)	99
Fig. 106 - Percentagem de moradias novas licenciadas com um fogo, por tipologia, em relação ao número total de moradias novas licenciadas, por ano. Intervalo entre 2002 e 2022 (Dados INE). Nota: Na designação Tx-yPacs+zcv da legenda, x é o número de quartos da moradia, y é o número de pisos acima da cota de soleira e z é o número de pisos abaixo da cota de soleira. Nota: Pacs - Pisos acima da cota de soleira	105
Fig. 107 - Percentagem de moradias novas licenciadas com um fogo, por tipologia, em relação ao número total de moradias novas licenciadas, por ano. Intervalo entre 2002 e 2022 (Dados INE)	105
Fig. 108 - Módulos disponíveis para configurações personalizadas dentro do sistema Treehouse (http://www.treehouse.pt/config.html)	108
Fig. 109 - Piso 0 - 8 Módulos - T3A 8 módulos. Área da casa 118,17m2, Área de pátio 68,31m2 (http://www.jular.pt/)	108
Fig. 110 - Treehouse, Cabo da Roca, Appleton & Domingos 2009-10 (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186)	108
Fig. 111 - Treehouse - Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186)	108
Fig. 112 - Treehouse Riga Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186)	108
Fig. 113 - Trihouse Riga Jular (http://www.jular.pt/conteudos.php?lang=pt&id_menu=186)	108
Fig. 114 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3B - 10 módulos Casa 141,47m2, Pátio 91,08m2 (http://www.jular.pt/)	109
Fig. 115 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3B - 10 módulos Casa 141,47m2, Pátio 91,08m2 (http://www.jular.pt/)	109
Fig. 116 - Treehouse - Piso 0 - 8 Módulos - T3 C1 (8+2 módulos. Casa=166,47m2, Pátio=91,08m2 (http://www.jular.pt/))	109
Fig. 117 - Treehouse - Piso 1 - 2 módulos - T3 C1 (8+2 módulos. Casa=166,47m2, Pátio=91,08m2 (http://www.jular.pt/))	109

Fig. 118 - Treehouse - Piso 0 - 10 Módulos - T3D (10 Módulos). Casa=164,24m2, Pátio=63,31m2 (http://www.jular.pt/).	109
Fig. 119 - Treehouse - Piso 0 - 12 Módulos - T3E (12 Módulos). Casa=187,53m2, Pátio=91,08m2 (http://www.jular.pt/).	109
Fig. 120 - Piso 0 - 12 Módulos - T3F (12 Módulos). Casa=164,76m2, Pátio=113,85m2 (http://www.jular.pt/).	109
Fig. 121 - Piso 0 - 12 Módulos - T3G (12 Módulos). Casa=157,83m2, Pátio=91,08m2 (http://www.jular.pt/).	109
Fig. 122 - Piso 0 - 14 Módulos - T3H (14 Módulos). Casa 210,82m2, Pátio 113,85m2 (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 123 - Piso 0 - 14 Módulos - T3I (14 Módulos). Casa 234,70m2, Pátio 91,08m2 (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 124 - Piso 0 - 14 Módulos - T4E (12 Módulos). Área coberta=235,10m2, Pátio=91,08m2 (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 125 - Piso 0 - 14 Módulos - T4G (14+4 Módulos). Área coberta=305,18m2, Pátio=113,85m2 (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 126 - Treehouse Spot - Jular (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 127 - Tree House Briza - Jular (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 128 - SW Lodge - Jular (http://www.jular.pt/).	110
Fig. 129 - T3.2.92-83-77A (77m2). Sistema AUZZ (http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf).	111
Fig. 130 - T3.2.105-87A (87m2). Sistema AUZZ (http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf).	111
Fig. 131 - T3.3.11-99A (99m2) Sistema AUZZ (http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf).	111
Fig. 132 - T3.3.99-83A (83m2) Sistema AUZZ (http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf).	111
Fig. 133 - Sistema AUZZ. (http://www.jular.pt/download/Auzz-construcao-modular-madeira-v10.pdf).	111
Fig. 134 - Habitações Lowcost - Jular (http://www.jular.pt/pdf/Habitacao-low-cost-PT.pdf).	111
Fig. 135 - Tipologia T3 com 1 piso Casema VM 3170 (http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/vm-3170.pdf).	112
Fig. 136 - Tipologia T3 com 1 piso Casema NM 3160 (http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3209.pdf).	112
Fig. 137 - Tipologia T4 com 2 pisos Casema NM 3209 (http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3160.pdf).	112
Fig. 138 - Tipologia T4 com 2 pisos Casema NM 3237 (http://www.casema.pt/wp-content/uploads/2010/11/nm-3237.pdf).	112
Fig. 139 - Coleção New Wave - Casa I - T3 - Casema (http://www.casema.pt/catalogo/colecao-new-wave/).	113
Fig. 140 - Projecto à medida - Casema (http://lh6.ggpht.com/-MregbpbFK2U/SQBHJ82atNI/AAAAAADpQ/QLv8Kw10T3c/Pedro%252520Paulo%252520-%2525203D%252520View%252520.jpg).	113
Fig. 141 - Moradia T4 na Foz do Arelho - Casema (http://www.casema.pt/obras/moradia-t4).	113
Fig. 142 - O Sistema SMEC (Sistema Modular Evolutivo da Carmo) (http://www.carmo.com/pt/estruturas/casas-de-madeira-modulares-smec-sistema-modular-evolutivo-da-carmo).	113
Fig. 143 - Restaurante dos Pescadores Herdade da Comporta (http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes).	113
Fig. 144 - Escritórios Algarve Montere - Carmo (http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes).	114
Fig. 145 - Habitação no Algarve - Carmo (http://www.carmo.com/pt/estruturas/escritorios-restaurantes-e-habitacoes).	114
Fig. 146 - Post & Beam Mar - Área fechada rés-do-chão 161,24m2. Alpendre: 34,94m2. Área bruta 196,18m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	114
Fig. 147 - Post& Beam Splendia. Área fechada do rés-do chão 125,18 m2. Área Bruta 165,88m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	114
Fig. 148 - Post& Beam Nau. Área fechada do rés-do chão 90,51 m2. Área fechada do andar 67,66m2. Área de vazio 22,85m2. Área Bruta 158,17m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	115
Fig. 149 - Post& Beam Terra. Área fechada do rés-do chão 134,14 m2. Área Bruta 163,10m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	115
Fig. 150 - Casa de troncos Natura 226. Área fechada do rés-do chão 104,79 m2. Área do andar 90,62m2, Área bruta 225,62m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	115
Fig. 151 - Rustica 203. Área fechada do rés-do-chão 104,08m2. Área fechada andar 67,19m2, Área bruta 201, 34m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	115
Fig. 152 - Nórdica 186. Área fechada rés-do-chão 81,59m2. Área fechada andar: 65,18m2, Área bruta 186,03m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	116
Fig. 153 - Montana 128. Área fechada do rés.do-chão 96,38m2, Área bruta 127,84m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	116
Fig. 154 - Natura 85. Área fechada rés de chão 81,14m2. Área bruta 85,19m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	116
Fig. 155 - Refúgio 55. Área fechada r/c 45,98m2 Alpendre: 9,97m2, Área bruta: 55,95m2 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/files/catalogo_rusticasa.pdf).	116
Fig. 156 - Arcos de Valdevez - Portugal - Rusticasa (https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151897418908098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater).	117
Fig. 157 - Ponte da Barca - Portugal - Rusticasa (https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151886496513098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater).	117
Fig. 158 - Montalegre, Portugal - Rusticasa (https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151879230863098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater).	117
Fig. 159 - Sintra, Portugal - Rusticasa (https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151822450868098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater).	117
Fig. 160 - Zona de Paris, França - Rusticasa (https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151648999248098&set=a.10150319395073098.417941.244442198097&type=1&theater).	117
Fig. 161 - TeePee - Paredes de 4cm espessura, Madeira de Cedro - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=118&catid=10&Itemid=5&lang=pt).	117
Fig. 162 - Modelo "Toscca Lazer". Área Útil 86,46m2. Área Bruta 108,90m2 - Toscca (http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf).	118
Fig. 163 - Casa da Clama. Área Útil 94,08m2. Área Bruta 129,60m2 - Toscca (http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf).	118
Fig. 164 - Modelo "Toscca Natura". Área útil 138,60m2. Área Bruta 208,08m2 - Toscca (http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf).	118

Fig. 165 - Modelo "Toscca Weekend". Área útil 75,92m ² . Área Bruta 108,82m ² - Toscca (http://www.toscca.com/fotos/editor2/casas-2010.pdf)	118
Fig. 166 - Projecto #08 - Modular System (http://www.modular-system.com/images/1254745733.pdf)	119
Fig. 167 - Casa Protótipo 161,51m ² - Modular System (Panico, 2007)	119
Fig. 168 - Sistema Séries - Modular System (http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=10&f=pt.htm)	119
Fig. 169 - Sistema Base - Modular System (http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=11&f=pt.htm)	119
Fig. 170 - Sistema Mobile Home - Modular System (http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=4&f=pt.htm)	120
Fig. 171 - Solução Nomad - Modular System (http://www.modular-system.com/site/level1b.php-a=w&page=1&c=ex&id=5&f=pt.htm)	120
Fig. 172 - Woodenquark - Portilame (http://www.woodenquark.com/woodenQuark_-_Habitacao_Modular_em_Madeira_-_TEMP/Inicio.html)	120
Fig. 173 - Woodenquark - Portilame (http://www.portilame.com/documentos/201401232058261390510707.pdf)	120
Fig. 174 - T3 Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LM-3310.pdf)	121
Fig. 175 - T3 Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LM-3160.pdf)	121
Fig. 176 - T4 de 2 Pisos, Linha moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LM-4252.pdf)	121
Fig. 177 - T3 de 2 pisos Linha moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LM-3209.pdf)	121
Fig. 178 - T3, Linha Clássica - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LC-3150.pdf)	121
Fig. 179 - T3 Linha Clássica - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LC-3280.pdf)	122
Fig. 180 - T3 de 2 pisos Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LM-3209.pdf)	122
Fig. 181 - T2 de 1 piso. Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LP-3150.pdf)	122
Fig. 182 - T3 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LP-3209.pdf)	122
Fig. 183 - T3 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LP-3237.pdf)	122
Fig. 184 - T3 de 1 Piso. Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LP-3310.pdf)	123
Fig. 185 - T4 de 2 Pisos. Linha Moderna - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/LP-4252.pdf)	123
Fig. 186 - Casas modulares. Modelo T3 - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/modular_T3.pdf)	123
Fig. 187 - Casas modulares. Modelo T4 - Imowood (http://www.imowood.pt/docs/modular_T4.pdf)	123
Fig. 188 - Moradia em Alcanena - Casa unifamiliar EJ, 2009 (http://www.disporurbe.pt/portfolio/casa-unifamiliar-ej)	123
Fig. 189 - Coleção "casas de madeira", Modelo Goiabeira, tipo T3 (área 72m ² , € 61.265). Coleção "casas de madeira", Modelo Cerejeira, tipo T3 (área 99m ² , € 65.533) - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html)	124
Fig. 190 - Coleção "casas de madeira", Modelo Faia A, tipo T3 (área 88m ² , € 73.641). Coleção "casas de madeira", Modelo Mameleiro, tipo T3 (área 74m ² , € 63.766) - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/cmadeira.html)	124
Fig. 191 - Coleção Mobil Homes, moelo Porto Covo, tipo T3, área 40m ² , €38.799 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/mobil_cat.html)	124
Fig. 192 - Linha Clássica, modelo Lisboa, T3, 131m ² , € 127.646 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3.html)	125
Fig. 193 - Linha Clássica, modelo Evora, T3, 103m ² , € 103.319 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3.html)	125
Fig. 194 - Linha Moderna, modelo Sintra, T3, 105m ² , € 101.648 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html)	125
Fig. 195 - Linha Moderna, modelo Sagres, T3, 105m ² , € 105.401 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html)	125
Fig. 196 - Linha Moderna, modelo Tavira, T3, 116m ² , €102.772 - Novo habitat (http://www.novohabitat.com.pt/vivendas_T3_c.html)	125
Fig. 197 - Projecto personalizado: Casa em Penha Flor - Lacedal e Plataforma de Arquitectura - Lacedal (http://www.lacedal.pt/pages/arquitectura/personalizada/casa_penha_flor/)	126
Fig. 198 - CED Casa eco design CED#3 T3 - Área Bruta 107,20m ² . Área útil 98,10m ² - (Lacedal e Plataforma de Arquitectura) (http://www.lacedal.pt/pages/arquitectura/em_serie/casa_eco_design/)	126
Fig. 199 - Construções IDEAWOOD (http://www.ideawood.pt/index.php/casas-de-madeira-6)	126
Fig. 200 - Planta Tipo T3 Área bruta interior 150m ² . Área Bruta exterior coberta 62m ² . Área Bruta total 212m ² - Alcomate (http://www.alcomate.pt/docs/plantas_tipologias_carimbo.pdf)	127
Fig. 201 - Corte esquemático da solução construtiva de uma casa MIMA (http://www.mimahousing.pt/technical.html)	128
Fig. 202 e Fig. 203 - Planta e alçado de uma casa MIMA e protótipo (http://www.mimahousing.pt/gallery.html)	128
Fig. 204 - Perspectiva e foto da Casa em Movimento apresentada no Solar Decathlon (http://www.mimahousing.pt/concept.html)	128
Fig. 205 - Proporção de créditos relacionados com a utilização da madeira em edifícios de habitação unifamiliar (Light House, 2009)	159
Fig. 206 - Exemplos de problemas causados pela retracção diferencial dos elementos de construção 1, 2, 3, 4 (CMHC, 2001)	166
Fig. 207 - Componentes e elementos onde o IBC exige madeira tratada (Wing, 2009). 1 - Pilares em contacto com o solo; 2 - Vigas próximas do solo; 3 - Travessas assentes em elementos de betão; 4 - Pilares assentes em elementos de betão ou alvenaria; 5 - Vigas e vigotas encastradas em paredes; 6 - Juntas de estruturas de madeira próximas do solo; 7 - Estruturas de madeira que suportam decks ou escadas permeáveis à água; 8 - Paredes de contenção com elementos de madeira; 9 - Fundações com elementos de madeira; 10 - Elementos de guardas e escadas expostos	174
Fig. 208 - Projecto de durabilidade (Cachim, 2007, p. 108)	175
Fig. 209 - Classificação de Sistemas de Construção (Majzub, 1977) in (Thanoon, Peng, Kadir, Jaafar, & Salit, 2003)	183
Fig. 210 - Comparação de sistemas de construção industrializados (Kamar, Hamid, Azman, & Ahmad, 2011)	184
Fig. 211 - Sistemas de construção de madeira classificados pela tipologia da estrutura (César, 2002, pp. 109,110)	185
Fig. 212 - Classificação de sistemas construtivos em madeira em diferentes países (Silva & Ino, 2008)	185
Fig. 213 - Classificação de sistemas construtivos em madeira destiados à habitação utilizados no Brasil com foco na estrutura (Silva & Ino, 2008)	186
Fig. 214 - Classificação de sistemas construtivos em madeira destiados à habitação utilizados no Brasil com foco na produção (Silva & Ino, 2008)	186
Fig. 215 - Classificação de sistemas estruturais em madeira e alternativa com base nos processos de fabrico (Mello, 2007)	186
Fig. 216 - Villa Solaire / JKA + FUGA (http://www.archdaily.com/289925/villa-solaire-jka-fuga-jka-fuga/)	199
Fig. 217 - Nórdica Especial - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=68%3Anordicaespecial&catid=18%3Atroncos&Itemid=2&lang=pt)	199

Fig. 218 - Planta Nórdica Especial e Galeria do modelo Montana 176 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=53&lang=pt).	199
Fig. 219 - Peak house - Honka (http://www.honka.com/en/residential-houses).	199
Fig. 220 - Exterior e interior - Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch. Galeria de uma casa Svenskhomes (http://www.timberhomeliving.com/nature-first/) (http://www.svenskhomes.co.uk/gallery).	200
Fig. 221 - Plantas de uma casa Massachusetts timber frame home - Design Jim Driesch (http://www.timberhomeliving.com/nature-first/).	200
Fig. 222 - The McDonell II - Timber frame house plans (http://www.timberframe-houseplans.com/house-plans/McDonell2.shtml).	200
Fig. 223 - Eriksson - Svenskhomes (http://www.svenskhomes.co.uk/eriksson#prettyPhoto).	200
Fig. 224 - Teton Springs Pond - Precision Craft Log & Timber homes (http://www.precisioncraft.com/photo-gallery/handcrafted-log-homes/teton-springs-log-home/tetonsprings-pond1/).	201
Fig. 225 - Casas Honka, Canada (http://www.honkacanada.com/galerie.html).	201
Fig. 226 - Laburnum - Stommel Haus (http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/standard_houses/laburnum).	201
Fig. 227 - Stommel Haus (http://www.stommel-haus.co.uk/your_new_house/morepictures).	201
Fig. 228 - Casa em Reckingen / Roman Hutter Architektur (http://www.archdaily.com/337854/house-in-reckingen-roman-hutter-architektur/).	202
Fig. 229 - Casa em Reckingen / Roman Hutter Architektur (http://www.archdaily.com/337854/house-in-reckingen-roman-hutter-architektur/).	202
Fig. 230 - Chalet em Les Diablerets / Charles Pictet Architecte (http://www.archdaily.com/324646/chalet-in-les-diablerets-charles-pictet-architecte/).	202
Fig. 231 - Casa de Verão em Southern Burgenland - Judith Benzer Architektur (http://europaconcorsi.com/projects/200223-Summer-House-in-Southern-Burgenland); Fig. 232 - Turismo rural em Montalegre / Nuno Flores + Sofia Neves (http://www.archdaily.com/278135/rural-tourism-in-montalegre-nuno-flores-sofia-neves/).	202
Fig. 233 - Alt 1374 - Nax / Lx1 Architecture (http://www.archdaily.com/271631/alt-1374-nax-lx1-architecture/).	202
Fig. 234 - Casa Karlsson - Tham & Videgård Arkitekter (http://www.archdaily.com/39602/house-karlsson-tham-videgard-hansson).	203
Fig. 235 - G house / Lode Architecture (http://www.archdaily.com/337459/g-house-lode-architecture/).	203
Fig. 236 - Haus BRU 1.25 / SoHo Architektur (http://www.archdaily.com/277291/haus-bru-1-25-soho-architektur/).	203
Fig. 237 - House VI / NKS Architects (http://www.archdaily.com/301067/house-vi-nks-architects/).	203
Fig. 238 - Maison 2G / Avenier Comejo Architectes (http://www.archdaily.com/301339/maison-2g-avenier-comejo-architectes/).	204
Fig. 239 - Plentzia 79 Bizkaia - AV62 Arquitectos (http://www.av62arquitectos.com/en/projects/plentzia-79-bizkaia-3-165-fotos).	204
Fig. 240 - Skyward House / acaa (http://www.archdaily.com/346185/skyward-house-aca/).	204
Fig. 241 - Twisted House / JVA (http://www.archdaily.com/277239/twisted-house-jva/).	204
Fig. 242 - ART 3 sample - Huf Haus (http://www.huf-haus.com/en/the-huf-house/individual-designs/sample-project-art-3.html).	205
Fig. 243 - A-Frame ReThink / Bromley Caldari Architects (http://www.archdaily.com/638862/a-frame-rethink-bromley-caldari-architects/); Fig. 244 - Casa em Hirvensalmi, Finland (http://www.archdaily.com/496304/kettukallio-playa-architects/).	205
Fig. 245 - Villa Wallin / Erik Andersson Architects (http://www.archdaily.com/366357/villa-wallin-erik-andersson-architects/).	205
Fig. 246 - La Grange de Mon Père / MJ Architectes (http://www.archdaily.com/292657/la-grange-de-mon-pere-mj-architectes/).	205
Fig. 247 - Casa 205 - H Architectes (http://europaconcorsi.com/projects/83474-Casa-205).	206
Fig. 248 - J-T House - JURI TROY Architects (http://europaconcorsi.com/projects/228545-J-T-House).	206
Fig. 249 - T-House / Satoru Ito Architects (http://www.archdaily.com/290158/t-house-satoru-ito-architects/).	206
Fig. 250 - Casa Honka em Rhône Alpes (http://www.honka.com/en/residential-houses).	206
Fig. 251 - Low Energy Timber House / AST 77 Architecten (http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/).	207
Fig. 252 - Low Energy Timber House / AST 77 Architecten (http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/).	207
Fig. 253 - Mascara House / mA-style architects (http://www.archdaily.com/289248/mascara-house-ma-style-architects/).	207
Fig. 254 - House in Mejirodai / Mejiro Studio + Kozo Kadowaki (http://www.archdaily.com/291966/house-in-mejirodai-mejiro-studio-kozo-kadowaki/).	207
Fig. 255 - São Francisco Xavier - Nitsche (http://www.nitsche.com.br/projetos.asp?id_projeto=57&ant=57&si=920383666).	208
Fig. 256 - Sam's Creek / Bates Masi Architects (http://www.archdaily.com/325359/sams-creek-bates-masi-architects/).	208
Fig. 257 - Casa MJ / Kombinat (http://www.archdaily.com/294800/house-mj-kombinat/).	208
Fig. 258 - La Luge / YH2 Architecture (http://www.archdaily.com/275993/la-luge-yh2-architecture/).	208
Fig. 259 - Residence in Keisen / Masao Yahagi Architects (http://www.archdaily.com/336289/residence-in-keisen-masao-yahagi-architects/).	209
Fig. 260 - Casa em Cromwell, New Zealand Architects: Team Green Architects (http://www.archdaily.com/556162/olive-grove-house-team-green-architects/).	209
Fig. 261 - Huf House (http://m.huf-haus.com/index.php?id=1137&L=1); Fig. 262 - Lockwood plans New Zealand (http://www.lockwood.co.nz/ModernHomeBuildingPlans/tabid/103/agentType/View/PropertyID/228/Default.aspx).	209
Fig. 263 - Huf House Lugano (http://www.huf-haus.com/en/italy/lugano/downloadsection-art-f.html).	209
Fig. 264 - Tipo Orgânico - Dragspelhuset - 24H Architecture (http://www.archello.com/en/project/dragspelhuset).	210
Fig. 265 - Dragspelhuset - 24H Architecture (http://www.archinnovations.com/featured-projects/houses/24h-architecture-dragspelhuset/).	210
Fig. 266 - Tipo Expressionista - Cube House - Plasma Studio (http://www.archdaily.com/412621/cube-house-plasma-studio).	210
Fig. 267 - Cube House - Plasma Studio (http://europaconcorsi.com/projects/124644-Cube-House).	210
Fig. 268 - Tipo Racional - Domespace Harmonique 8,71 e Harmonique 7,20 (http://www.domespace.com/fr/photos).	210
Fig. 269 - Squish Studio - Saunders Architecture (http://europaconcorsi.com/projects/197812-Squish-Studio).	211
Fig. 270 - Fjällhus Residence / PS Arkitektur (http://www.archdaily.com/11585/fjallhus-residence-ps-arkitektur/); Fig. 271 - Post & Beam Mar - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt).	211
Fig. 272 - GP Casa in Montagna - Geza (http://europaconcorsi.com/projects/181042-GP-Casa-in-montagna).	211
Fig. 273 - Humilec family house - Mimosa Architekti (http://europaconcorsi.com/projects/143212-Bohumilec-family-house).	211
Fig. 274 - Roprachtice House / PRODESI (http://www.archdaily.com/352481/roprachtice-house-prodesi/).	211
Fig. 275 - Villa Wallin / Erik Andersson Architects (http://www.archdaily.com/366357/villa-wallin-erik-andersson-architects/); Fig. 276 - Villa Valtanen / Arkkitehtitoimisto Louekari (http://www.archdaily.com/325553/villa-valtanen-arkkitehtitoimisto-louekari/).	212
Fig. 277 - Boathouse - Tyn Tegnestue Architects (http://europaconcorsi.com/projects/194208-Boathouse).	212
Fig. 278 - GP Casa in Montagna (http://europaconcorsi.com/projects/181042-GP-Casa-in-montagna).	212

Fig. 279 - Bohumilec family house - Mimosa Architekti (http://europaconcorsi.com/projects/143212-Bohumilec-family-house); Fig. 280 - A House in the Fields - Jean Baptiste Barache, Sihem Lamine, Barache/Lamine Architects (http://europaconcorsi.com/projects/91828-A-House-in-the-Fields)	212
Fig. 281 - Casa C. - FGP ST.UDIO (http://europaconcorsi.com/projects/4340-Casa-C-); Fig. 282 - G house / Lode Architecture (http://www.archdaily.com/337459/g-house-lode-architecture/); Fig. 283 - Chalet in Les Diablerets - Charles Pictet (http://europaconcorsi.com/projects/221367-Chalet-in-Les-Diablerets)	212
Fig. 284 - Haus Hesse - Wildrich Hien Architekten (http://europaconcorsi.com/projects/219649-Haus-Hesse); Fig. 285 - House K - Becker Architekten (http://www.archdaily.com/354818/house-k-becker-architekten/)	212
Fig. 286 - Garden House - Tham & Videgård Arkitekter (http://housevariety.blogspot.pt/2010/11/garden-house-by-tham-videgard.html#_UYE0uaJwqM0)	213
Fig. 287 - Mima House - Mima Architects (http://www.divisare.com/projects/185038-Mima-Architects-Mima-House); Fig. 288 - Casa Santa Julia - Emilio Marin, Juan Carlos Lopez (http://europaconcorsi.com/projects/200827-Casa-Santa-Julia); Fig. 289 - Casa de Verão em Stocolm archipelago - Tham & Videgard Arkitekter (http://www.tvark.se/soderora/)	213
Fig. 290 - Casa Yagiyama / Kazuya Saito Architects (http://www.archdaily.com/292988/house-yagiyama-kazuya-saito-architects/); Fig. 291 - Skyward House / acaa (http://www.archdaily.com/292988/house-yagiyama-kazuya-saito-architects/)	213
Fig. 292 - W-House / Uchida Architect Design Office (http://www.archdaily.com/361396/w-house-uchida-architect-design-office/)	213
Fig. 293 - Casa de Verão em Southern Burgenland - Judith Benzer Architektur (http://europaconcorsi.com/projects/200223-Summer-House-in-Southern-Burgenland); Fig. 294 - A House in the Fields - Jean Baptiste Barache, Sihem Lamine, Barache/Lamine Architects (http://europaconcorsi.com/projects/91828-A-House-in-the-Fields)	214
Fig. 295 - Les Aventuriers . Shun Hirayama (http://freshome.com/2010/03/09/imposing-residence-from-shun-hirayama-architecture-%E2%80%99Cles-aventuriers%E2%80%99D/); Fig. 296 - Low Energy Timber House - AST 77 Architekten (http://www.archdaily.com/304858/low-energy-timber-house-ast-77-architecten/); Fig. 297 - House S/b - Bevk Perovic Arhitekti (http://europaconcorsi.com/projects/17657-House-S-b)	214
Fig. 298 - Treehouse Riga T1+1 - Jular (http://www.jular.pt/pdf/Treehouse-casas-modulares-madeira-2011.pdf); Fig. 299 - Brownie - Uchida Architect Design Office (http://www.archdaily.com/359955/brownie-uchida-architect-design-office/); Fig. 300 - Vacation House - William O'Brien Jr (http://www.trendir.com/house-design/vacation-house-plans-a-frame.html)	214
Fig. 301 - Casa MH95 - 100x100 Madera (http://www.casas-madera-madrid.net/casas-de-diseno/disenos-100x100-madera/); Fig. 302 - Rustica 203 - Rusticasa (http://www.rusticasa.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt)	214
Fig. 303- Four-cornered villa - Avanto Arch. (http://europaconcorsi.com/projects/215793-Four-cornered-villa); Fig. 304- Casa em Hanoura - Fujiwarramuro Arch. (http://www.archdaily.com/345779/house-in-hanoura-fujiwarramuro-architects/); Fig. 305- Guesthouse - HHF Arch+Ai Weiwei (http://www.archdaily.com/267635/guesthouse-hhf-architects-ai-weiwei/)	215
Fig. 306 - Plan Kit Maison Bois Massif ou Ossature Modele PIN - Maison Eco Malin (http://www.maison-eco-malin.com/Pages/plan_maison_bois_plans_maisons_bois_grand_piquey.aspx); Fig. 307 - U Shaped Home With Unique Floor Plan - Builder House plans (http://www.builderhouseplans.com/u-shaped-home-with-unique-floor-plan/pid/114090787); Fig. 308 - Plan 811 - Princeton Plans Press (http://www.pplans.com/store/cart.php?m=product_detail&p=817)	215
Fig. 309 - Residence in Keisen - Masao Yahagi Architects (http://www.archdaily.com/336289/residence-in-keisen-masao-yahagi-architects/); Fig. 310 - Plan No.278171 - West Home planners (http://www.westhomeplanners.com/House-Plan-1308.html)	215
Fig. 311 - Maldonado House / Matias Silva Aldunate Architect (http://www.archdaily.com/308669/maldonado-house-matias-silva-aldunate-architect/); Fig. 312 - Seashore Shell House / Takeshi Hirobe Architects (http://www.archdaily.com/308070/seashore-shell-house-takeshi-hirobe-architects/)	215
Fig. 313 - Edgewood design - Riverbend Timber framing (http://www.riverbendtf.com/floorplans/edgewood.html); Fig. 314 - Haus am Steinberg / HoG Architektur (http://www.archdaily.com/325329/haus-am-steinberg-hog-architektur/)	215
Fig. 315 - Mascara House / mA-style architects (http://www.archdaily.com/289248/mascara-house-ma-style-architects/); Fig. 316 - House 2y / Destilat (http://www.archdaily.com/291243/house-2y-destilat/)	216
Fig. 317 - Spiral House - Olavi Koponen (http://www.trendir.com/house-design/strange-spiral-seashell-house-in-finland.html#more); Fig. 318 - Swedish eco-home - Kjellgren Kaminsky (http://www.trendir.com/house-design/passive-house-plans-swedish-eco-home.html)	216
Fig. 319 - Tree Hut / Barnaby Gunning Architects (http://www.archdaily.com/287787/tree-hut-barnaby-gunning-architects/); Fig. 320 - Hus-1 - Torsten Ottesjö (http://www.homedsgn.com/2012/06/18/hus-1-by-torsten-ottesjo/)	216
Fig. 321 - House of Would / Elii (http://www.archdaily.com/323302/house-of-would-elii/); Fig. 322 - PTL House in Kanagawa - Satoru Hirota (http://www.architecturelist.com/2012/03/02/ptl-house-in-kanagawajapan-by-satoru-hirota-architects/); Fig. 323 - Treehouse Tropical - João Appleton (C6_JoaoAppleton.pdf24.pdf)	216
Fig. 324 - Wooden house with an inner courtyard - Bernardo Bader (http://europaconcorsi.com/authors/30439-Bernardo-Bader); Fig. 325 - Nest / UID Architects (http://www.archdaily.com/285221/nest-uid-architects/); Fig. 326 - House J - Keiko Maita architect office (http://www.archdaily.com/382445/house-j-keiko-maita-architect)	216
Fig. 327 - Weekend house at Gun-Usui - Kazuyo Sejima + Ryue Nishizawa (http://p040910bioscajana.blogspot.pt/2010/05/casa-de-cap-de-setmana-usui-gun-japan.html); Fig. 328 - Treehouse - João Appleton (C6_JoaoAppleton.pdf24.pdf)	217
Fig. 329 - C/Z House - Sami - Arquitectos (http://europaconcorsi.com/projects/188540-C-Z-House/images/2985528); Fig. 330 - Jamberoo Farm House - Casey Brown Architecture (http://www.archdaily.com/339387/jamberoo-farm-house-casey-brown-architecture/); Fig. 331 - Post & Beam Flor - Rusticasa (http://www.rusticasa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=34&Itemid=59&lang=pt)	217
Fig. 332 - House in Sayo - Fujiwarramuro Architects (http://www.archdaily.com/345154/house-in-sayo-fujiwarramuro-architects/); Fig. 333 - Sam's Creek / Bates Masi Architects (http://www.archdaily.com/325359/sams-creek-bates-masi-architects/)	217

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da madeira de acordo com o teor de água (Cachim, 2007).	82
Tabela 2 - Dimensões comerciais de madeira serrada (Pedrosa & Irmãos, 2013).	94
Tabela 3 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência de elementos opacos e de vãos envidraçados (Portugal, 2013).	141
Tabela 4 - Definição de classes de serviço e exemplos (TRADA & IStructE, 2007).	144
Tabela 5 - Classes de duração das acções (TRADA & IStructE, 2007).	144
Tabela 6 - Programa de publicação dos Eurocódigos (LNEC, 2013).	146
Tabela 7 - Classificação visual da madeira estrutural de <i>Pinus pinaster</i> em Portugal (Sanz & Et al., 2007).	154
Tabela 8 - Classes resistentes de madeira serrada (EN 338) (Sanz & Et al., 2007).	155
Tabela 9 - Relação entre classes de qualidade e classes de resistência (EN 1912:2004) (Negrão & Faria, 2009, p. 41).	156
Tabela 10 - Durabilidade de algumas madeiras correntes segundo a norma EN 350-2 (Machado, Dias, Cruz, & Custódio, 2009, p. 40).	170
Tabela 11 - Resumo das classes de risco, condições de humidade e agentes biológicos que poderão afectar a madeira maciça segundo a NP EN 335-2, 2011 (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 33).	172
Tabela 12 - Resumo das classes de risco EN 335, 2013 (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 34).	172
Tabela 13 - Relação entre classes de risco e classes de serviço (EN 1995-1-1:2004) e as classes de risco (EN 335:2003) (Nunes, Bases para a monitorização do risco de degradação na construção de casas de madeira, 2013, p. 35).	173
Tabela 14 - Relação entre classes de risco definidas para as diferentes condições de utilização e capacidade de resposta das madeiras, segundo as suas características de durabilidade (NP EN 460-1995) (Cachim, 2007, p. 155).	173
Tabela 15 - Classificação nas duas faces para critérios G2 e G4 (Sanz & Et al., 2007).	177
Tabela 16 - Classificação nos quatro lados para critério G4 (Sanz & Et al., 2007).	177
Tabela 17 - Outras singularidades (Sanz & Et al., 2007).	177
Tabela 18 - Outras singularidades (Sanz & Et al., 2007).	178
Tabela 19 - Guias de Aprovação Técnica Europeia (ETAG - Guidelines for European Technical Approvals).	180
Tabela 20 - Terminologias segundo vários autores nacionais.	198
Tabela 21 - Síntese dos sistemas construtivos abrangidos pelos vários autores nacionais.	198