



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

ANA SORAIA ALMEIDA CÂNDIDO
(Licenciada em Engenharia Civil)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na área de
especialização de Edificações

Orientador:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunto (ISEL)

Júri:

Presidente: Doutor Filipe Manuel Almeida Vasques, Prof. Adjunto (ISEL)

Vogais:

Doutora Maria Dulce e Silva Franco Henriques, Prof. Adjunto (ISEL)

Doutora Helena Maria Pires Cruz, Inv. Principal (LNEC)

Dezembro de 2013

Resumo

Em Portugal existem muitos edifícios com elevado valor patrimonial, tendo grande parte dos mesmos estrutura em madeira. Desta forma para garantir a sua manutenção e conservação é fundamental aplicar técnicas de inspeção, diagnóstico e reabilitação. O presente trabalho destina-se ao estudo dos métodos de inspeção não destrutivos em estruturas de madeira, incluindo a sua aplicação a um caso de estudo: Palacete Ribeiro da Cunha, construído em 1877. Ao longo do trabalho procedeu-se à inspeção e diagnóstico de três zonas do edifício: pavimento, cobertura dos arrumos e cobertura do lanternim. Cada local foi sujeito a um rigoroso plano de inspeção, recorrendo-se a inspeção visual e ensaios não destrutivos (Resistógrafo e Pilodyn). A avaliação realizada incide apenas sobre a degradação biológica presente nas peças de madeira, nomeadamente ataque por caruncho, térmitas e fungos.

A inspeção visual revelou-se uma etapa fundamental do processo de diagnóstico, isto porque auxilia e suporta os resultados obtidos com os ensaios. Actualmente, a classificação visual da madeira é um tema presente em algumas normas, como por exemplo a NP 4305:1995 e a UNI 11119:2004, sendo as mesmas analisadas e aplicadas no presente caso de estudo. Para além dos resultados obtidos, são apresentadas as condicionantes e dificuldades inerentes à sua aplicação *in situ*. O Eurocódigo 5 (EN 1995:2004) também é abordado na perspectiva de verificação de segurança tendo em conta o nível de degradação registado. A utilização de ensaios não destrutivos verificou-se vantajosa, não só por facilitar a compreensão e obtenção de propriedades mecânicas e resistentes da madeira, mas também pelo seu carácter pouco intrusivo dado que se trata de um edifício com enorme interesse e valor arquitectónico.

A aplicação da norma NP 4305:1995 a um caso de estudo *in situ* de madeira antiga revelou-se demasiado conservativa, visto que a norma é destinada à avaliação de madeira nova. Assim, é aconselhável a sua adaptação e utilização moderada em função do caso de estudo em análise.

Este estudo constitui a fase inicial de um projecto de inspeção e diagnóstico, que caso seja desenvolvido pode permitir a elaboração de conclusões sobre o estado de conservação da estrutura do edifício, incluindo: medidas preventivas ou de tratamento para impedir a progressão da degradação biológica e caso seja necessário a aplicação de técnicas de reabilitação.

Palavras-chave: património, reabilitação, inspeção e técnicas de diagnóstico, estruturas de madeira, ensaios não destrutivos, degradação biológica

Abstract

Many buildings, with significant historical value, are located in Portuguese old towns. In most cases these types of buildings have timber structures which need specific care to keep, at least, reasonable levels of conservation and security. Thus, the research and development of more efficient inspection and diagnosis methods are essential to verify the needs of rehabilitation. The studied building is a mansion located in a major historical area of Lisbon, named Palacete Ribeiro da Cunha. Its construction dates from 1877, thus being an important part of local heritage. The main objective of this study is the application of non-destructive testing in timber structure buildings. To achieve this, three different areas of the timber structure were subject to a thorough inspection plan, which included visual inspection and non-destructive testing (Resistograph, Pilodyn and Moisture content). The wood biological degradation was also under analysis, through the identification of beetles, subterranean termites and fungi.

The visual inspection revealed itself very useful, supporting testing results. Nowadays, visual inspection of timber is subject of regulation by many countries, such as NP 4305:1995 and UNI 11119:2004. Thus, the employment of some of this standards, and further explanation of the difficulties and limitations related with their application *in situ*, is one of the objectives of this study. In addition, the Eurocode 5 (EN 1995:2004) is also addressed, in order to verify if the safety conditions are satisfied, despite the observed damage level. The choice for non-destructive tests have proven useful, not only because it allows a better mechanical characterization, but also because of its careful approach resulting in no damage, much needed in buildings with such architectural value.

The main subject of standard NP 4305:1995 refers to visual inspection of timber for structural purposes. Thus, his application on *in situ* visual inspection of old timber structures proved too strict. Therefore, a wise adaptation is needed in function of the type of building, structure and timber in study.

Therefore, this study can be useful in an initial phase of inspection and diagnosis of the needs of rehabilitation of the building's timber structure.

Key-words: heritage, rehabilitation, inspection and diagnosis methods, wooden structures, non-destructive testing, biological degradation

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à orientadora Doutora Engenheira Maria Dulce Franco Henriques por me ter apoiado ao longo de todo o processo de realização da dissertação e enriquecido com o seu vasto conhecimento sobre o tema. Agradeço imenso pela disponibilidade e generosidade prestada ao longo dos últimos meses de trabalho, bem como pelas sugestões e correcções que valorizaram e enriqueceram o presente trabalho.

Agradeço também ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) por me ter facultado o acesso aos equipamentos (Resistógrafo e Pilodyn), elementos fundamentais para a realização deste trabalho.

Gostaria também de agradecer aos responsáveis pela entidade Eastbank presentes no Palacete Ribeiro da Cunha que autorizaram a minha presença no edifício e a realização de ensaios não destrutivos indispensáveis para o desenvolvimento da dissertação.

Agradeço igualmente ao Engenheiro Hélder Sousa que se disponibilizou para me ajudar a interpretar a norma de classificação visual italiana, bem como para o esclarecimento de algumas dúvidas inerentes ao tema.

Em último lugar, mas não menos importante, agradeço às pessoas que me apoiaram nesta fase muito exigente da minha vida, nomeadamente à minha família e amigos. Em especial ao Tiago, namorado, amigo e confidente, pela paciência, ajuda e motivação que tornaram este trabalho possível e possibilitaram a concretização de um grande objectivo de vida.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO E JUSTIFICAÇÃO DO TEMA	1
1.2. OBJECTIVOS.....	3
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	5
2. A MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS	7
2.1. EDIFÍCIOS POMBALINOS E A SUA CARACTERIZAÇÃO.....	7
2.1.1. Caracterização arquitectónica	11
2.1.2. Caracterização estrutural e construtiva	12
2.1.2.1. Fundações	12
2.1.2.2. Pavimento	15
2.1.2.3. Paredes.....	19
2.1.2.4. Cobertura	22
2.2. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	25
2.2.1. As vantagens da utilização da madeira como material de construção	28
2.2.2. Durabilidade natural e classes de risco	29
2.3. ABORDAGEM DA NORMALIZAÇÃO EXISTENTE.....	29
2.4. DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA	30
2.4.1. Agentes de degradação biológica.....	31
2.4.1.1. Caruncho	31
2.4.1.2. Térmitas.....	35
2.4.1.2. Fungos	39
3. TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS DE INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO	44
3.1. OBJECTIVO E SEQUÊNCIA DE INTERVENÇÃO	45
3.2. MÉTODOS E EQUIPAMENTOS.....	49
3.2.1. Técnicas tradicionais	49
3.2.2. Técnicas não-tradicionais	54
3.2.2.1. Métodos locais de ensaio	54
3.2.2.2. Métodos globais de ensaio	60
3.3. CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA NP 4305:1995.....	66
3.3.1. Objectivo	66
3.3.1.1. Critérios de medição de defeitos.....	67

3.3.1.2.	Observações e definições.....	73
3.3.1.3.	Classes de qualidade.....	74
3.4.	CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA ITALIANA UNI 11119:2004.....	76
4.	APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	79
4.1.	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO.....	79
4.1.1.	Localização.....	79
4.1.2.	História.....	79
4.1.3.	Caracterização estrutural e arquitectónica.....	80
4.2.	IDENTIFICAÇÃO DO ESQUEMA ESTRUTURAL E CARACTERIZAÇÃO DAS ZONAS DE ESTUDO...81	
4.2.1.	Pavimento.....	82
4.2.2.	Cobertura (arrumos).....	86
4.2.3.	Cobertura (lanternim).....	87
5.	INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS ZONAS DE ESTUDO	91
5.1.	METODOLOGIA DE INSPECÇÃO APLICADA.....	91
5.2.	MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS DE DIAGNÓSTICO UTILIZADOS IN SITU	91
5.2.1.	Métodos tradicionais.....	91
5.2.1.1.	Observação visual.....	91
5.2.1.2.	Humidímetro de contacto.....	93
5.2.2.	Métodos não-tradicionais.....	94
5.2.2.1.	Resistógrafo.....	94
5.2.2.2.	Pilodyn.....	96
5.3.	APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....	97
5.3.1.	Pavimento.....	97
5.3.2.	Cobertura (arrumos).....	108
5.3.3.	Cobertura (lanternim).....	115
5.3.4.	Conclusões.....	122
6.	AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.....	127
6.1.	ESTADO LIMITE ÚLTIMO – FLEXÃO SIMPLES.....	128
6.1.1.	Metodologia de cálculo.....	129
6.2.	CONCLUSÃO	134

7. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA NP 4305:1995...	137
7.1. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	138
7.1.1. Nós	138
7.1.2. Inclinação do fio	140
7.1.3. Taxa de crescimento	141
7.1.4. Fendas.....	142
7.1.5. Descaio	143
7.1.6. Empenos.....	144
7.1.7. Bolsas de resina e casca inclusa.....	144
7.1.8. Medula.....	144
7.1.9. Degradação biológica	144
7.2. CONCLUSÃO	145
8. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA UNI 11119:2004 ..	149
8.1. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	149
8.1.1. Nós	149
8.1.2. Inclinação do fio	150
8.1.3. Fendas.....	150
8.1.4. Descaio	150
8.2. CONCLUSÃO	150
9. CONCLUSÕES E ESCLARECIMENTOS FINAIS.....	153
9.1. CONCLUSÕES	153
9.1.1. Objectivos atingidos e condicionantes	155
9.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO.....	157
REFERÊNCIAS	159
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
REFERÊNCIAS NORMATIVAS	168
ANEXOS.....	169
CAPÍTULO 5. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS ZONAS DE ESTUDO	171
5.A: Resultados obtidos com o ensaio Pilodyn.....	173

5.A.1: Pavimento	173
5.A.2: Cobertura (arrumos)	174
5.A.3: Cobertura (lanternim)	175
CAPÍTULO 6. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	177
6.A: Verificação das vigas à resistência por flexão simples	179
6.A.1: Secção inicial	179
6.A.2: Secção actual	180
CAPÍTULO 7. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA	180
NP 4305:1995.....	181
7.A: Atribuição de classes de qualidade – Nós	183
7.A.1: Pavimento	183
7.A.2: Pavimento (continuação)	184
7.A.3: Pavimento (continuação)	185
7.A.4: Cálculo justificativo (pavimento).....	186
7.A.5: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)	187
7.A.6: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)	188
7.A.7: Cobertura (arrumos)	188
7.A.8: Cálculo justificativo (cobertura dos arrumos - continuação).....	188
7.A.9: Cobertura (lanternim)	189
7.A.10: Cálculo justificativo (cobertura do lanternim)	189
7.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	190
7.C: Atribuição de classes de qualidade – Taxa de crescimento (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	191
7.D: Atribuição de classes de qualidade – Fendas	192
7.D.1: Pavimento	192
7.D.2: Cobertura (arrumos)	193
7.D.3: Cobertura (lanternim)	193
7.E: Atribuição de classes de qualidade – Descaio	194
7.E.1: Importância do descaio (pavimento)	194
7.E.2: Importância do descaio (pavimento – continuação)	195
7.E.3: Importância do descaio (cobertura dos arrumos).....	196
7.E.4: Importância do descaio (cobertura do lanternim)	196
7.E.5: Classes de qualidade	197
7.F: Atribuição de classes de qualidade – Empeno	197
7.G: Fichas de classificação visual	198
7.G.1: Pavimento	198

7.G.2: Cobertura (arrumos)	216
7.G.3: Cobertura (lanternim)	220
7.H: Atribuição de classe de qualidade – Resumo	225
7.H.1: Pavimento	225
7.H.2: Cobertura (arrumos)	226
7.H.3: Cobertura (lanternim)	227
CAPÍTULO 8. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA UNI 11119:2004	229
8.A: Atribuição da classe de qualidade – Nós	231
8.A.1: Pavimento	231
8.A.2: Cobertura (arrumos)	232
8.A.3: Cobertura (lanternim)	232
8.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	233
8.C: Atribuição de classes de qualidade – Fendas	234
8.D: Atribuição de classes de qualidade – Descaio	234
8.D.1: Importância do descaio (pavimento)	234
8.D.2: Importância do descaio (cobertura dos arrumos)	235
8.D.3: Importância do descaio (cobertura do lanternim)	235
8.E: Atribuição de classe de qualidade – Resumo	236
8.E.1: Pavimento	236
8.E.2: Cobertura (arrumos)	236
8.E.3: Cobertura (lanternim)	236
PEÇAS DESENHADAS.....	237

Índice de Figuras

1. INTRODUÇÃO

Figura 1.1. Alojamentos novos construídos por 1000 habitantes.....	1
Figura 1.2: Classificação do edificado em Lisboa	2
Figura 1.3: Organigrama dos principais objectivos da dissertação	4

2. A MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

Figura 2.1: Evolução da tipologia construtiva	7
Figura 2.2: Lisboa durante o sismo de 1755	8
Figura 2.3: Zonas mais atingidas pelo terramoto na cidade de Lisboa.....	9
Figura 2.4: Representação esquemática e imagem real de edifício Pombalino da Avenida 24 Julho ...	11
Figura 2.5: Esquema e imagem de distribuição e transmissão de esforços dos arcos para as paredes resistentes.....	16
Figura 2.6: Ligações entre o pavimento e a parede resistente.....	16
Figura 2.7: Utilização de ferrolhos e cachorros nas ligações parede – pavimento	16
Figura 2.8: Tarugagem de vigamentos e ligação do tipo “Orelha derrabada”.....	17
Figura 2.9: Ligação das tábuas de soalho do tipo “meia madeira” e “macho-fêmea”.....	17
Figura 2.10: Revestimento inferior do pavimento: com recurso a fasquiado, reboco e estuque (corte transversal e longitudinal) e com recurso a forro do tipo “saia e camisa”	18
Figura 2.11: Esquema representativo da parede de frontal e pormenor da Cruz de Santo André	20
Figura 2.12: Paredes de frontal e tabique	21
Figura 2.13: Esquema representativo e imagem real da constituição da parede de tabique	21
Figura 2.14: Composição da estrutura da asna simples e asna mista	23
Figura 2.15: Ligações por samblagens	23
Figura 2.16: Estrutura de cobertura amansardada e janela de trapeira	24
Figura 2.17: Entrega de asna: representação esquemática com recurso a elementos metálicos e imagem real com recurso a mísula, elementos de alvenaria de pedra.....	24
Figura 2.18: Telhado com lanternim	25
Figura 2.19: Curvas de retracção da madeira.....	26

Figura 2.20: Exemplo de corte da madeira	27
Figura 2.21: Secção transversal do tronco: constituição	27
Figura 2.22: Efeito da variação do teor em água da madeira na resistência mecânica	28
Figura 2.23: Ciclo de vida do caruncho	33
Figura 2.24: Presença de serrim	34
Figura 2.25: Aspecto da madeira degradada por caruncho e pormenor de orifícios de saída.....	34
Figura 2.26: Ataque por caruncho: secção residual estimada assinalada a amarelo.....	34
Figura 2.27: Térmitas subterrâneas	36
Figura 2.28: Localização (por Concelhos) das térmitas subterrâneas em Portugal Continental e sua distribuição nas freguesias da cidade de Lisboa (registos disponíveis).....	36
Figura 2.29: Térmitas subterrâneas: constituição da casta.....	37
Figura 2.30: Ciclo biológico das térmitas	38
Figura 2.31: Degradação por térmitas: aspecto laminado	39
Figura 2.32: Condições de desenvolvimento dos fungos	39
Figura 2.33: Presença de hifas em peça de madeira.....	41
Figura 2.34: Ciclo biológico dos fungos.....	41
Figura 2.35: Aspecto de madeira degrada por fungos de podridão e cromogéneos	42
Figura 2.36: Aspecto de madeira degrada por fungos de podridão branca e castanha	42
Figura 2.37: Podridão castanha	43

3. TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO

Figura 3.1: Evolução do estado de conservação e da necessidade de intervenções de beneficiação e reabilitação ao longo do tempo.....	45
Figura 3.2: Organograma: Fases de inspecção	46
Figura 3.3: Organograma: capacidade resistente dos elementos de madeira	48
Figura 3.4: Organograma: ensaios de inspecção e diagnóstico	49
Figura 3.5: Lâmina metálica e comparador de fendas	52
Figura 3.6: Humidímetro de contacto	52

Figura 3.7: Técnicas tradicionais alternativas: lupa luminosa e detector acústico de insectos xilófagos	53
Figura 3.8: Organograma: ensaios não destrutivos	54
Figura 3.9: Esquema representativo da agulha de perfuração do Resistógrafo, em milímetros	55
Figura 3.10: Resistógrafo: Telescópio (esquerda) e caixa de armazenamento de dados (direita)	55
Figura 3.11: Perfil resistográfico	56
Figura 3.12: Pilodyn.....	58
Figura 3.13: Esquema representativo do ensaio Pilodyn	59
Figura 3.14: Observação do interior de um pavimento com o boroscópio.....	60
Figura 3.15: Metodologia de execução da técnica de ultra-sons.....	64
Figura 3.16: Esquema de funcionamento do aparelho METRIGUARD.....	65
Figura 3.17: Execução do ensaio de termografia e respectivo termograma	65
Figura 3.18: Georradar: unidade central	65
Figura 3.19: Variação da resistência à compressão axial com a incidência de defeitos para madeira de Pinho Bravo	67
Figura 3.20: Método de medição dos nós: KAR marginal e total	68
Figura 3.21: Medição do fio	69
Figura 3.22: Variação da tensão de rotura e módulo de elasticidade em função do ângulo de inclinação do fio	69
Figura 3.23: Medição da taxa de crescimento	70
Figura 3.24: Defeitos de secagem.....	70
Figura 3.25: Medição de fendas	71
Figura 3.26: Medição do descaio.....	71
Figura 3.27: Medição de empenos.....	72
Figura 3.28: Esquema de um elemento de madeira: face, canto e topo.....	74
Figura 3.29: Madeira classificada como E e EE, respectivamente.....	75

4. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Figura 4.1: Localização do edifício	79
---	----

Figura 4.2: Palacete Ribeiro da Cunha	80
Figura 4.3: Pátio interior e escadaria	81
Figura 4.4: Localização das zonas em estudo	81
Figura 4.5: Vista geral do pavimento (entrada da instalação sanitária) e disposição das vigas	82
Figura 4.6: Pormenor de travamento do pavimento	84
Figura 4.7: Ligação do tipo “macho-fêmea” entre as tábuas de soalho	84
Figura 4.8: Entrada da divisão dos arrumos e pormenor da numeração dos elementos escolhidos para a inspeção e diagnóstico	86
Figura 4.9: Pormenor da cobertura: telhas	87
Figura 4.10: Vista global da cobertura dos arrumos	88
Figura 4.11: Ligação do tipo respiga e mecha entre os pendurais e diagonais e Ligação de encaixe entre nível-pendural e nível-diagonal	89

5. INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS ZONAS DE ESTUDO

Figura 5.1: Quantificação da secção residual das vigas do pavimento (lâmina metálica) e registo das dimensões dos elementos construtivos em análise fita métrica)	92
Figura 5.2: Medição do comprimento das vigas do pavimento	92
Figura 5.3: Utilização do humidímetro de contacto em viga do pavimento	93
Figura 5.4: Utilização do Resistógrafo	94
Figura 5.5: Medida resistográfica <i>versus</i> massa volúmica	95
Figura 5.6: Pilodyn e pormenor da escala	96
Figura 5.7: Profundidade de penetração do Pilodyn <i>versus</i> massa volúmica	96
Figura 5.8: Aspecto de degradação da Viga 3 do pavimento (Face orientada para Noroeste)	99
Figura 5.9: Presença de orifícios de saída do caruncho na Viga 3 do pavimento	99
Figura 5.10: Localização dos ensaios realizados na Viga 6 do pavimento (Canto superior)	100
Figura 5.11: Perfil resistográfico R5 (Viga 6)	100
Figura 5.12: Empolamento da superfície da Viga 8 do pavimento (Face orientada para Noroeste)	101
Figura 5.13: Orifícios de saída do caruncho pequeno e grande na Viga 8 do pavimento	102
Figura 5.14: Localização dos ensaios realizados na Viga 8 do pavimento (Canto superior)	102

Figura 5.15: Perfil resistográfico R1 (Viga 8)	102
Figura 5.16: Perfil resistográfico R2 (Viga 8)	103
Figura 5.17: Aspecto de degradação da Viga 9 do pavimento (Face orientada para Noroeste)	103
Figura 5.18: Aspecto de degradação da Viga 10 do pavimento (Face orientada para Sudeste)	104
Figura 5.19: Aspecto de degradação e empolamento da superfície da Viga 11 do pavimento (Face orientada para Noroeste)	105
Figura 5.20: Aspecto de degradação da Viga 13 do pavimento (Face orientada para Sudeste)	106
Figura 5.21: Localização dos ensaios realizados na Viga 13 do pavimento (Canto superior).....	106
Figura 5.22: Perfil resistográfico R3 (Viga 13)	107
Figura 5.23: Perfil resistográfico R4 (Viga 13)	107
Figura 5.24: Aspecto de degradação do Elemento 1 da cobertura dos arrumos (Canto inferior) e orifícios de saída do caruncho pequeno e grande	109
Figura 5.25: Localização dos ensaios realizados no Elemento 1 da cobertura dos arrumos (Face orientada para Sudeste)	110
Figura 5.26: Perfil resistográfico R2 (Elemento 1).....	110
Figura 5.27: Aspecto de degradação do Elemento 2 da cobertura dos arrumos (Canto inferior) e orifício de saída do caruncho grande	111
Figura 5.28: Sinais de humidificação anterior no Elemento 3 da cobertura dos arrumos	112
Figura 5.29: Localização dos ensaios realizados no Elemento 3 da cobertura dos arrumos (Canto inferior)	112
Figura 5.30: Perfil resistográfico R1 (Elemento 3).....	112
Figura 5.31: Aspecto e pormenor de degradação do Elemento 4 da cobertura dos arrumos (Canto inferior)	113
Figura 5.32: Localização dos ensaios realizados no Elemento 4 da cobertura dos arrumos (Face orientada para Sudeste)	114
Figura 5.33: Perfil resistográfico R3 (Elemento 4).....	114
Figura 5.34: Aspecto de degradação do Elemento 1 da cobertura do lanternim (Face orientada Sudeste e Nordeste).....	116
Figura 5.35: Orifícios de saída do caruncho grande no Elemento 1 da cobertura do lanternim	116

Figura 5.36: Localização dos ensaios realizados no Elemento 1 da cobertura do lanternim (Face orientada para Noroeste)	117
Figura 5.37: Perfil resistográfico R2 (Elemento 1).....	117
Figura 5.38: Localização dos ensaios realizados no Elemento 4 da cobertura do lanternim (Face orientada para Sudeste)	118
Figura 5.39: Perfil resistográfico R4 (Elemento 4).....	118
Figura 5.40: Aspecto de degradação do Elemento 5 da cobertura do lanternim (Face orientada para Nordeste) e orifícios de saída do caruncho grande	119
Figura 5.41: Pormenor de degradação do Elemento 5 da cobertura do lanternim (Canto inferior).....	119
Figura 5.42: Localização dos ensaios realizados no Elemento 5 da cobertura do lanternim (Canto superior e Face orientada para Nordeste)	120
Figura 5.43: Perfil resistográfico R1 (Elemento 5).....	121
Figura 5.44: Perfil resistográfico R3 (Elemento 5).....	121

6. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Figura 6.1: Metodologia de dimensionamento e verificação de segurança aconselhada pelo Eurocódigo 0	127
Figura 6.2: Modelo do carregamento das vigas	129

7. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA NP 4305:1995

Figura 7.1: Ficha de classificação visual	137
Figura 7.2: Avaliação do KAR total e KAR marginal	138
Figura 7.3: Viga 1: Canto, Topos e face inacessível.....	139
Figura 7.4: Degradação superficial (viga 13 do pavimento).....	139
Figura 7.5: Pintura de cal na perna de asna 1 da cobertura do lanternim	140
Figura 7.6: Avaliação da posição da medula da viga 6 do pavimento (imagem representativa e secção transversal).....	140
Figura 7.7: Inclinação do fio (Viga 9 do pavimento).....	141
Figura 7.8: Medição da abertura de fendas com comparador de fendas	142

Figura 7.9: Descaio em elementos da cobertura do lanternim: pendural (1).....	143
Figura 7.10: Vista geral das vigas do pavimento.....	144
Figura 7.11: Degradação biológica por térmitas (elemento 4 da cobertura dos arrumos).....	145
Figura 7.12: Atribuição de classes de qualidade pela norma portuguesa (em percentagem).....	147

8. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA UNI 11119:2004

Figura 8.1: Atribuição de classes de qualidade pela norma italiana (em percentagem).....	152
--	-----

Índice de Quadros

1. INTRODUÇÃO

Quadro 1.1: Estrutura do sector da construção na União Europeia (2002)	2
Quadro 1.2: Zonas em estudo	4

2. A MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS

Quadro 2.1: Evolução da malha urbana na cidade de Lisboa	10
Quadro 2.2: Representação esquemática dos tipos de fundações.....	13
Quadro 2.3: Sequência de execução de fundação indirecta	14
Quadro 2.4: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos das fundações.....	15
Quadro 2.5: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos dos pavimentos	18
Quadro 2.6: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos das paredes	22
Quadro 2.7: Desvantagens da utilização da madeira como material de construção	29
Quadro 2.8: Agentes xilófagos: comparação entre caruncho grande e pequeno	32
Quadro 2.9: Tipos de podridão.....	43

3. TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS DE INSPECÇÃO E DIAGNÓSTICO

Quadro 3.1: Ferramentas utilizadas na inspecção visual.....	51
Quadro 3.2: Especificações técnicas do aparelho	57
Quadro 3.3: Especificações técnicas do aparelho	58
Quadro 3.4: Metodologias de medição	62
Quadro 3.5: Equipamentos de ultra-sons a utilizar em estruturas de madeira.....	63
Quadro 3.6: Agrupamento de nós.....	68
Quadro 3.7: Expressões de cálculo da importância do descaio.....	71
Quadro 3.8: Classes de qualidade estabelecidas para a madeira de Pinheiro bravo	74
Quadro 3.9: Valores característicos das propriedades mecânicas da madeira de Pinho bravo	75
Quadro 3.10. Objectivos e processo de execução de avaliação e inspecção <i>in situ</i>	77
Quadro 3.11. Classes de qualidade atribuídas pela norma italiana	78

Quadro 3.12. Propriedades mecânicas correspondentes às classes de qualidade atribuídas.....	78
---	----

4. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Quadro 4.1: Dimensões geométricas das vigas e tarugos do pavimento.....	83
Quadro 4.2: Espaçamento entre vigas do pavimento.....	83
Quadro 4.3: Visualização geral dos elementos construtivos do pavimento.....	85
Quadro 4.4: Dimensões geométricas dos elementos construtivos da cobertura dos arrumos.....	86
Quadro 4.5: Visualização geral dos elementos construtivos da cobertura dos arrumos.....	87
Quadro 4.6: Dimensões geométricas dos elementos construtivos da cobertura do lanternim.....	88
Quadro 4.7: Visualização geral dos elementos construtivos da cobertura do lanternim.....	89

5. INSPECCÃO E DIAGNÓSTICO DAS ZONAS DE ESTUDO

Quadro 5.1: Classes de risco de estruturas de madeira.....	93
Quadro 5.2: Degradação biológica do pavimento.....	97
Quadro 5.3: Medições do teor de água do pavimento.....	98
Quadro 5.4: Perda de secção da Viga 3 do pavimento.....	99
Quadro 5.5: Perda de secção da Viga 8 do pavimento.....	101
Quadro 5.6: Perda de secção da Viga 9 do pavimento.....	104
Quadro 5.7: Perda de secção da Viga 10 do pavimento.....	104
Quadro 5.8: Perda de secção da Viga 11 do pavimento.....	105
Quadro 5.9: Perda de secção da Viga 13 do pavimento.....	106
Quadro 5.10: Degradação biológica da cobertura dos arrumos.....	108
Quadro 5.11: Medições do teor de água da cobertura dos arrumos.....	108
Quadro 5.12: Perda de secção do Elemento 1 da cobertura dos arrumos.....	109
Quadro 5.13: Perda de secção do Elemento 2 da cobertura dos arrumos.....	111
Quadro 5.14: Perda de secção do Elemento 4 da cobertura dos arrumos.....	113
Quadro 5.15: Medições do teor de água da cobertura do lanternim.....	115
Quadro 5.16: Degradação biológica da cobertura do lanternim.....	115

Quadro 5.17: Perda de secção do Elemento 1 da cobertura do lanternim	116
Quadro 5.18: Perda de secção do Elemento 5 da cobertura do lanternim	120
Quadro 5.19: Diâmetro médio dos orifícios de saída.....	122
Quadro 5.20: Massa volúmica obtida a partir da correlação com o ensaio Pilodyn.....	123
Quadro 5.21: Massa volúmica obtida a partir da correlação com o ensaio Resistográfico	124
Quadro 5.22: Massa volúmica da madeira de Pinho Bravo e Casquinha.....	124

6. AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Quadro 6.1: Categorias de utilização.....	130
Quadro 6.2: Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios.....	131
Quadro 6.3: Valores recomendados para o coeficiente parcial γM	132
Quadro 6.4: Valores de k_{mod}	133
Quadro 6.5: Verificação das vigas à resistência por flexão simples (Resumo).....	134

7. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA NP 4305:1995

Quadro 7.1: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (pavimento - resumo).....	146
Quadro 7.2: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (cobertura dos arrumos - resumo)	146
Quadro 7.3: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (cobertura do lanternim - resumo)	147

8. APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO VISUAL SEGUNDO A NORMA UNI 11119:2004

Quadro 8.1: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (pavimento-resumo).....	151
Quadro 8.2: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (cobertura dos arrumos-resumo) ..	151
Quadro 8.3: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (cobertura do lanternim-resumo) .	152

9. CONCLUSÕES E ESCLARECIMENTOS FINAIS

Quadro 9.1: Resultados obtidos com a classificação visual (norma portuguesa e italiana).....	155
--	-----

Abreviaturas, siglas e acrónimos

A_b – Abertura da fenda

b – largura da viga

B – Largura ou diâmetro da estaca

D – Altura da estaca

DT – Ensaios destrutivos (Destructive testing)

EC – Eurocódigo

EN – European norm

GTM – Métodos globais de ensaio (Global Test Methods)

h – Altura da viga

KAR – Relação entre a área dos nós e a área total (Knot Area Ratio)

NDT – Ensaios não destrutivos (Non-destructive testing)

L – Comprimento

L_f – Comprimento da fenda

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

LTM – Métodos locais de ensaio (Local Test Methods)

MR – Medida resistográfica

NP – Norma portuguesa

P – Carregamento das vigas

P_f – Profundidade da fenda

PSF – Ponto de saturação das fibras

R – Ensaio resistográfico

1. Introdução

1.1. Enquadramento e justificação do tema

Durante alguns anos, a Engenharia Civil em Portugal direcionou-se maioritariamente para a construção de edifícios novos, dando origem a um crescimento exponencial do número de edificações. Segundo os Censos de 2011, o crescimento dos alojamentos relativamente aos registos de 2001 foi de 16,3%, enquanto o número de famílias aumentou 11,6% e a população apenas 1,9%. Portugal, tem hoje, perto de 1900000 alojamentos sem ocupação permanente, que consumiram cerca de 200 mil milhões de euros de economias e de capacidade de endividamento das famílias (Cóias, 2011). Esta tendência já era visível no decurso das últimas décadas em que a taxa de construção de edifícios de habitação se encontrava muito acima da média da União Europeia, tal como se verifica na **Figura 1.1**.

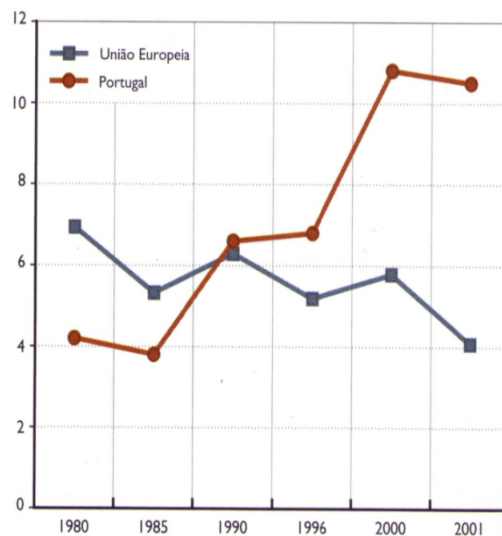


Figura 1.1. Alojamentos novos construídos por 1000 habitantes (Paiva, 2006)

Na figura anterior, pode-se observar a evolução da construção de novos alojamentos (por cada 1000 habitantes), sendo que a linha azul representa os dados da União Europeia e a vermelha refere-se a Portugal.

Portugal é o país da União Europeia com o parque habitacional mais recente e com o sector da reabilitação de edifícios menos desenvolvido, apresentando no ano de 2002 apenas 6% de intervenções de reabilitação em relação à média dos países da União Europeia que atingiram 37%. Apesar dos dados remeterem para o ano de 2002, os valores podem ser extrapolados para a actualidade. Sabe-se que o volume de obras de reabilitação tem vindo a aumentar ao longo dos últimos anos, mas que ainda alcança patamares muito inferiores ao atingido por outros países da Europa, tal como pode ser observado no **Quadro 1.1** seguidamente apresentada, referindo-se a dados de 2002.

Quadro 1.1: Estrutura do sector da construção na União Europeia (2002) (Paiva, 2006)

Países	Edifícios			Obras de Engenharia
	Construção Nova		Reabilitação	
	Residencial	Não-Residencial		
Portugal	46%	20%	6%	28%
União Europeia (média)	23%	19%	37%	22%

Em Lisboa existem cerca de 50 mil fogos com necessidade de obras de requalificação e de reabilitação, representando cerca de 21% do edificado do município (segundo o *Jornal de Negócios, 2010*). A reabilitação destes edifícios em detrimento da sua demolição e posteriormente a construção nova é muitas vezes vantajosa, não apenas a níveis económicos mas também no desempenho global do edifício e na proteção do património edificado. Alguns edifícios apresentam bons materiais e soluções construtivas, mas que devido a falta de manutenção se deterioraram e neste momento por razões inerentes à inexistência de condições de habitabilidade se encontram em ruínas ou devolutos.

Portugal é um país muito rico em edifícios de elevado valor patrimonial em que uma parte significativa dos elementos estruturais, nomeadamente em coberturas, é em madeira. Reabilitar estes edifícios é uma tarefa que nunca terá fim (Faria, 2004). As estruturas de madeira podem apresentar uma durabilidade bastante elevada, centenas de anos, desde que se tomem as devidas acções de manutenção e restauro ou reabilitação. A partir de 1755, data do grande terramoto que atingiu a cidade de Lisboa, que a madeira assumiu um papel importante como elemento estrutural, sendo utilizada para pavimentos, paredes e coberturas. É o caso de alguns edifícios pombalinos que representam na cidade 13% da construção habitacional (**Figura 1.2**).

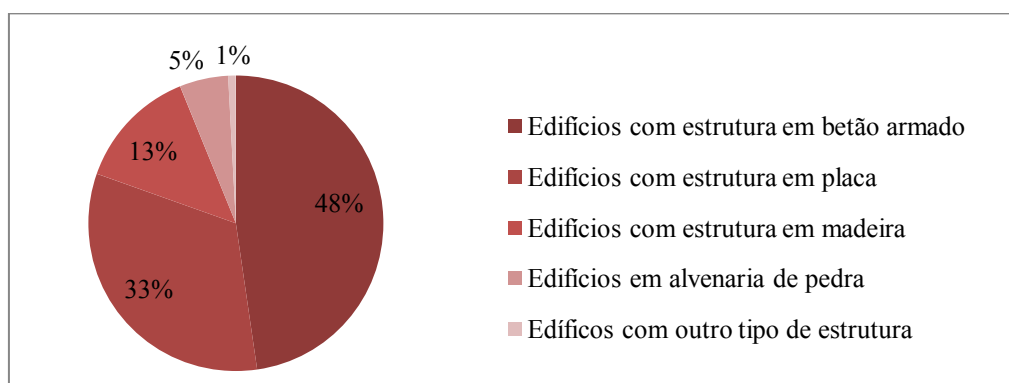


Figura 1.2: Classificação do edificado em Lisboa (Paiva, 2006)

Actualmente, grande parte dos edifícios da época pombalina e gaioleira ainda se encontra em utilização, contudo a maioria, por falta de acções de reabilitação, encontra-se com elevados danos devido, sobretudo, à suscetibilidade do material a agentes biológicos. Por este motivo, é interessante estudar os fenómenos e acções de degradação provocados pelos agentes xilófagos para que, aliando

estes conhecimentos à utilização de meios de inspecção e diagnóstico se possa chegar ao estado de conservação da estrutura e consequentemente identificar as opções mais acertadas de reabilitação.

1.2. Objectivos

O objectivo principal da dissertação é a análise e aplicação *in situ* de alguns métodos não destrutivos de inspecção e diagnóstico de estruturas de madeira, incluindo técnicas tradicionais e não tradicionais. Outro objectivo do trabalho a aplicação da metodologia de inspecção visual, método não menos importante quando comparado com os anteriores. Este trabalho apenas se baseará na inspecção de elementos estruturais de madeira com patologias associadas à degradação por agentes biológicos, tais como: insectos (caruncho e térmitas) e fungos.

Para além dos métodos de inspecção e diagnóstico, também serão abordados os factores que propiciam a degradação biológica e o ciclo de vida dos agentes. Associado à acção dos agentes no elemento de madeira, abordar-se-á o mecanismo de ataque realizado por cada agente, assim como o aspecto típico apresentado pelo elemento degradado. Este estudo será efetuado de modo a poder identificar corretamente *in situ* os agentes de degradação presentes.

Outro dos objectivos do trabalho consiste na interpretação dos resultados obtidos a partir da campanha de ensaios realizados, tendo em conta a espécie de madeira e o grau de degradação verificado *in situ*, com o intuito de avaliar o estado de conservação individual de cada elemento e posteriormente o comportamento e qualidade global da estrutura. Para tal, foi estabelecido um caso de estudo e escolhidas três zonas distintas de intervenção: pavimento, cobertura dos arrumos e cobertura do lanternim, tal como se observa no **Quadro 1.2**.




A avaliação da estrutura incluiu, como tarefa inicial do processo de inspecção, o reconhecimento dos processos e técnicas de construção envolvidos bem como os materiais utilizados. Esta avaliação foi efetuada com a finalidade de melhorar a avaliação do comportamento estrutural das zonas anteriormente identificadas. Para colmatar a informação obtida com a realização dos ensaios, foi ainda relacionada a perda de secção útil de cada elemento do pavimento com a sua resistência através da verificação de segurança à flexão simples preconizada no Eurocódigo 5 (EN 1995:2004).

Por fim, e como complemento às conclusões obtidas com a realização dos objectivos anteriores, será abordada a norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual). Esta norma é referente à classificação visual e tem como intuito avaliar os elementos de madeira de Pinho Bravo em função da presença de algumas características, tais como: nós, fendas,

descaio, degradação biológica, entre outros. Através desta avaliação é possível a atribuição de classes de qualidade aos elementos analisados, tendo em conta os defeitos existentes.

Como complemento à inspecção visual será ainda analisada a norma italiana UNI 11119:2004 relacionada com a classificação visual *in situ* de estruturas antigas de madeira.

Quadro 1.2: Zonas em estudo

Zonas em estudo		
Pavimento	Cobertura	
	Arrumos	Lanternim
		

Assim, aliando os métodos de inspecção utilizados (inspecção visual e instrumental) com a normalização existente, é possível avaliar a qualidade e estado de conservação da estrutura nas zonas referidas. No organigrama exposto seguidamente (**Figura 1.3**), apresenta-se uma síntese dos principais objetivos da presente dissertação.

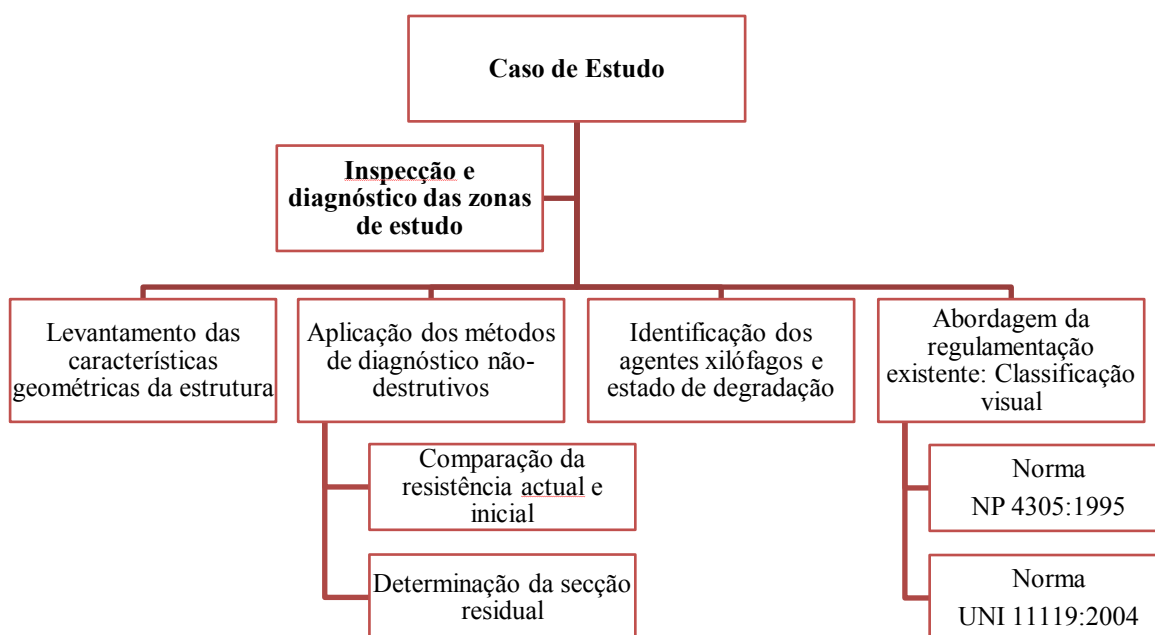


Figura 1.3: Organigrama dos principais objetivos da dissertação

1.3. Estrutura da dissertação

A tese é composta por oito capítulos principais:

– *Capítulo 1: Introdução*

Este capítulo inclui o enquadramento e justificação do tema, os objectivos da dissertação e ainda a descrição da estrutura da dissertação

– *Capítulo 2: A madeira em edifícios antigos*

O capítulo engloba a informação recolhida sobre a madeira em edifícios antigos, nomeadamente de edifícios da época Pombalina, e a sua caracterização arquitectónica e estrutural.

Para além disso, também apresenta um pequeno sub-capítulo com as propriedades e características da madeira, descrevendo algumas das suas vantagens e desvantagens bem como a abordagem da normalização existente para a madeira. Como um dos focos do trabalho é a análise de degradação biológica, este capítulo também contém a identificação de alguns agentes biológicos (caruncho, térmitas e fungos) seguidos da descrição da sua espécie, ciclo de vida e características específicas inerentes à sua identificação.

– *Capítulo 3: Técnicas não destrutivas de inspecção e diagnóstico*

O capítulo aborda ainda os métodos não destrutivos de inspecção e diagnóstico existentes para a avaliação do estado de conservação de elementos de madeira, distinguindo-se entre tradicionais e não-tradicionais.

Neste capítulo, apresentam-se as principais directrizes e conceitos estabelecidos pelas normas NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual) e UNI 11119:2004.

– *Capítulo 4: Apresentação do caso de estudo*

O objectivo do presente capítulo é a apresentação do edifício em estudo (localização, história, caracterização estrutural e arquitectónica), bem como a caracterização das zonas específicas que serão alvo de um plano de inspecção e diagnóstico, incluindo dimensões dos elementos, métodos construtivos, materiais utilizados, entre outros.

– *Capítulo 5: Inspeção e diagnóstico das zonas de estudo*

Este capítulo constitui o capítulo central do trabalho, sendo os seus conteúdos provenientes da aplicação *in situ* dos conhecimentos adquiridos nos capítulos 2 e 3. Este capítulo engloba um caso de estudo, onde é realizada a inspeção e diagnóstico de três locais específicos do edifício. Como

complemento à inspeção visual, são utilizados meios de inspeção auxiliares não destrutivos. Este capítulo contempla todas as características identificadas *in situ*, resultantes não só da inspeção visual, mas também dos resultados obtidos com a realização dos ensaios não destrutivos, a partir dos quais resultam as conclusões retiradas.

– *Capítulo 6: Avaliação do comportamento estrutural do pavimento*

Este capítulo inclui também a avaliação estrutural do comportamento do pavimento quando sujeito a esforços de flexão simples, com verificação de segurança proposta pelo Eurocódigo 5 (EN 1995:2004) a este tipo de esforço.

– *Capítulo 7: Aplicação da classificação visual segundo a norma NP 4305:1995*

Este capítulo destina-se à aplicação da classificação visual proposta pela norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual). Da aplicação desta norma resultaram fichas de classificação visual para cada elemento avaliado, assim como a respectiva identificação da classe de qualidade.

– *Capítulo 8: Aplicação da classificação visual segundo a norma UNI 11119:2004*

Neste capítulo será analisada e aplicada aos locais de estudo a metodologia de classificação visual proposta pela norma italiana UNI 11119:2004. Com os resultados obtidos é possível a atribuição de classes de qualidade a cada elemento inspeccionado.

– *Capítulo 9: Conclusões e esclarecimentos finais*

O presente capítulo abrange as conclusões gerais obtidas resultantes do trabalho realizado *in situ*, (objectivos atingidos e críticas) e ainda algumas propostas de futuro desenvolvimento que possam acrescentar conhecimento e valor ao estudo já elaborado.

Após os capítulos enunciados anteriormente, é apresentada a listagem de referências bibliográficas sobre as quais se apoia a informação detalhada presente ao longo de toda a dissertação.

Por fim, são apresentados os anexos do trabalho que englobam todos os documentos não presentes no corpo do trabalho, nomeadamente: anexos e peças desenhadas. Os anexos incluem tabelas de cálculo e de resultados, assim como fichas de classificação visual para cada elemento construtivo. É de salientar que as tabelas apresentadas sustentam as fundamentações e conclusões presentes nos capítulos respetivos. As peças desenhadas incluem plantas e vistas gerais das zonas de estudo, contendo a discretização dos defeitos presentes nas peças avaliadas.

2. A madeira em edifícios antigos

Ao longo dos séculos, tem-se verificado a evolução da estrutura urbana e das tipologias construtivas dos edifícios. Cada tipologia construtiva apresenta valores extremamente importantes não só ao nível do conhecimento das técnicas de construção antigas e comportamento dos materiais, mas também como referências históricas e testemunhos do progresso. Na **Figura 2.1**, está ilustrada a evolução das tipologias construtivas desde o século XII até à actualidade.

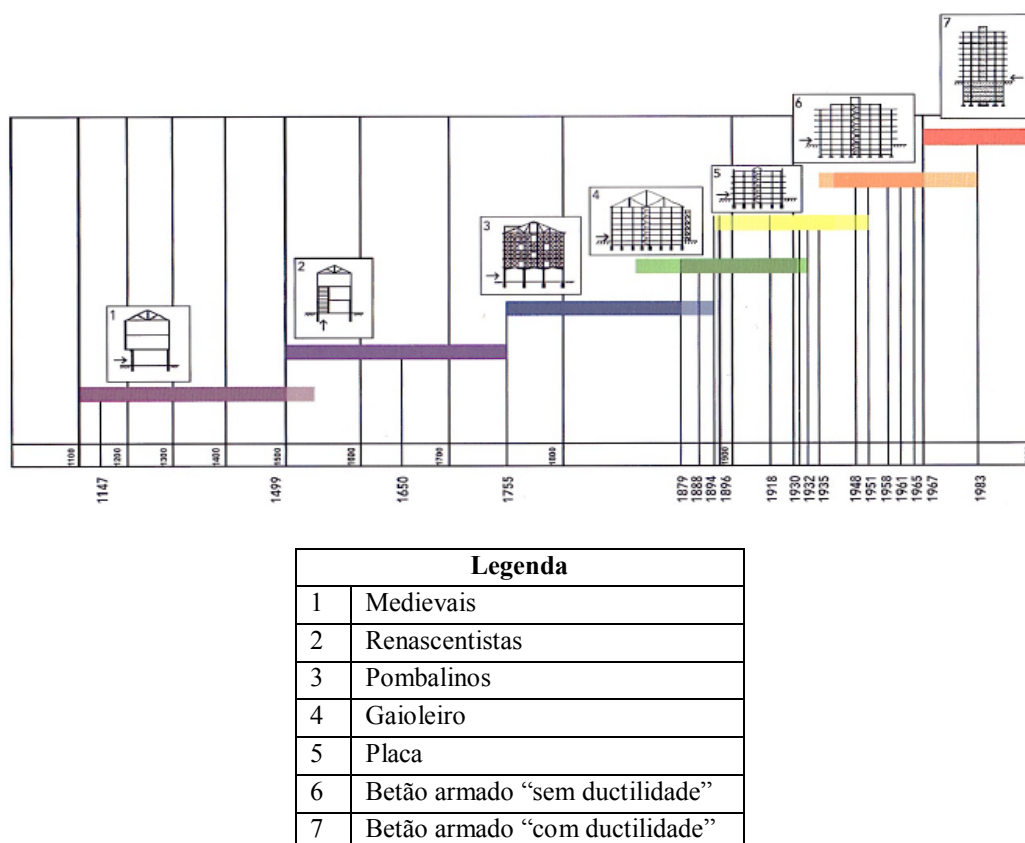


Figura 2.1: Evolução da tipologia construtiva (Cóias, 2007)

É no final do século XVIII que a madeira assume papel importante, mais especificamente na época Pombalina (1755 – 1830), definida como um período de afirmação da arquitectura e engenharia portuguesas, num país que não era conhecido pelos seus avanços na inovação tecnológica (Appleton, 2011).

2.1. Edifícios pombalinos e a sua caracterização

No dia 1 de Novembro de 1755, um dos maiores sismos ocorridos até à data atingiu a cidade de Lisboa. Para além do terramoto que atingiu a magnitude de 9 na escala de Richter, a cidade foi

também atingida por um maremoto (Sousa, 1928). Por se tratar de uma cidade localizada a cotas baixas, as ondas provocadas pelo maremoto inundaram grande parte da cidade (Mascarenhas, 2005).

Devido aos danos provocados nos edifícios, deflagraram incêndios em alguns pontos da cidade que duraram vários dias (Mascarenhas, 2005). O sismo originou cerca de 20.000 vítimas mortais numa população de cerca de 100.000 habitantes e destruiu quase por completo a cidade de Lisboa, pois cerca de 10% dos edifícios ficaram destruídos e 60% ficaram danificados (Mendonça, 1758). Entre os edifícios destruídos incluem-se monumentos nacionais (igrejas e palácios), unidades hospitalares e residências pertencentes às famílias da Corte Real (França, 1989). Os relatos e os dados que foram avançados revelam o grau de gravidade e de mortalidade atingido pela catástrofe. Porém, o estado de calamidade e insalubridade instalado foi algo imensurável (**Figura 2.2**).



Figura 2.2: Lisboa durante o sismo de 1755 (Mateus, 2004)

Antes de 1755, Lisboa era uma cidade caracterizada pelo seu traçado irregular, ruas estreitas e construção desorganizada e justaposta (França, 1989). A cidade desenvolvia-se de acordo com as necessidades dos habitantes e em função da topografia acentuada do terreno, apresentando assim uma estrutura caótica (Mascarenhas, 2005). O tipo de construção existente tornou-se prejudicial na evacuação da população e facilitou a propagação dos incêndios (Ramos & Lourenço, 2000). Até à data, os edifícios eram maioritariamente de estrutura de alvenaria de pedra e a qualidade de construção variava muito consoante o método construtivo e o material escolhido. As paredes eram constituídas por alvenaria de pedra e os pavimentos eram de madeira. Em menor quantidade, existiam alguns edifícios de estrutura de madeira, que foram os poucos que resistiram à catástrofe. Porém, a maioria dos edifícios não apresentava resistência estrutural suficiente para suportar as acções impostas pelo terramoto e maremoto. Assim, é nesta altura que em Portugal surge a sensibilização e interesse no estudo da sismologia e engenharia sísmica. Na **Figura 2.3**, pode-se observar que as zonas mais afectadas pela ocorrência do maremoto, correspondem às zonas com maior densidade de construção (Mira, 2007). De acordo com Rodeia (2006), dos escombros do terramoto de 1755, levantou-se uma cidade diferente: com preocupação estética e espacial. É neste sentido que se desenvolveu um novo conceito da cidade de Lisboa, marcada por novos princípios a nível artístico, arquitectónico e estrutural.

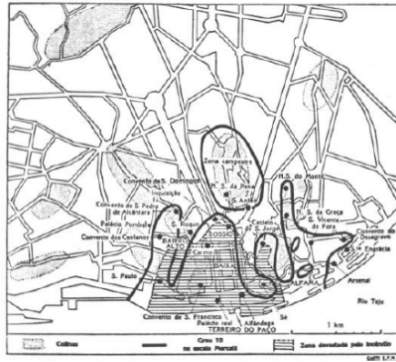


Figura 2.3: Zonas mais atingidas pelo terramoto na cidade de Lisboa (França, 1989)

O Primeiro-ministro, Marquês de Pombal, projectou para a cidade um plano urbanístico, designado por Plano Pombalino – Dissertação sobre a renovação sobre a cidade de Lisboa. Este plano era constituído por três partes e foi acompanhado de cinco propostas de reconstrução da cidade da autoria dos elementos intervenientes na operação (Santos, 2013). O plano baseou-se em alguns objectivos pré-estabelecidos (Mascarenhas, 2005):

- Padronização e normalização dos elementos construtivos;
- Construção anti-sísmica, de modo a minimizar a possibilidade de futuros danos;
- Melhoria na segurança contra incêndios;
- Melhoria da malha urbana: traçado (definição dos eixos viários principais e secundários), geometria dos arruamentos e organização dos espaços urbanos;
- Melhoria das condições de habitabilidade dos cidadãos.

Para fazer face à urgência de construção de edifícios de habitação, surgiram novos conceitos na área da engenharia civil: a padronização e pré-fabricação das estruturas. Associados à uniformização surge a noção de planeamento e planificação das obras, por motivos de economia e rapidez de execução. Contudo, apesar de ser necessária uma rápida intervenção, os pormenores na construção não foram descurados, verificando-se uma elevada garantia de qualidade das estruturas (Ramos & Lourenço, 2000). A padronização verificou-se não só ao nível dos elementos estruturais, mas também em termos de espaços interiores e no aspecto exterior dos edifícios.



No século XVIII, época Iluminista, intensificou-se a investigação e desenvolvimento da ciência, como área de estudo, em detrimento das crenças e valores empíricos impostos pela Igreja e tradição (França, 1989).

Após a catástrofe, surgiu a grande preocupação de garantir que os edifícios assim construídos pudessem responder com grande eficácia a qualquer futuro cataclismo (Appleton, 2011; Cachim, 2007). Pelo facto dos edifícios que resistiram ao sismo apresentarem estrutura de madeira, os técnicos decidiram investigar e estudar o potencial construtivo do material natural. Assim, com os

conhecimentos da engenharia naval, que há muitos anos já utilizava a madeira como material de construção das embarcações, criou-se a gaiola pombalina. Isto porque, as navegações apresentavam um bom comportamento às acções dinâmicas impostas pelo mar e estabeleceu-se um paralelismo entre as duas situações (Pinho, 2008; Andrade, 2011). Na reconstrução da Baixa Pombalina, participaram várias personalidades ilustres que foram fundamentais para o sucesso do processo, tais como: o Arquitecto Manuel da Maia, o Engenheiro Eugénio dos Santos e o Arquitecto e Engenheiro Carlos Mardel (França,1989). Este acontecimento revolucionou a construção em Portugal e permitiu a construção de edifícios mais resistentes às acções sísmicas. Apesar de todos os esforços disponibilizados para a reedificação da cidade, o processo tornou-se longo e prolongou-se até meados do século XIX (Andrade, 2011).

No **Quadro 2.1**, assinalam-se as diferenças da cidade antes e depois de 1755, bem como as características associadas a estas. No seguimento da reconstrução da cidade e da melhoria da qualidade de vida dos habitantes, foram introduzidas novas infraestruturas, nomeadamente: redes de esgotos, recolha de lixo, abastecimento de água e sistema de combate a incêndios (Mascarenhas, 2005).

Quadro 2.1: Evolução da malha urbana na cidade de Lisboa (Appleton, 2011)

Evolução da malha urbana		
Antes de 1755		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Malha caótica, densa, irregular e arruamentos estreitos ▪ Construção justaposta ▪ Falta de qualidade de construção ▪ Cruzamento de espaços privados e públicos ▪ Edifícios de 1 ou 2 pisos
Depois de 1755		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traçado regular e arruamentos largos, rectos e ortogonais ▪ Construção de quarteirões ▪ Elevada qualidade (métodos construtivos e materiais) ▪ Melhoria dos espaços públicos: mais amplos e melhor iluminação ▪ Edifícios de 3 a 4 pisos

A elevada qualidade da construção também se deveu à criação de regulamentação que impunha conceitos e regras básicas para a construção de modo a assegurar a segurança dos habitantes. O regulamento indicava os direitos e deveres dos proprietários de terrenos e construções. A legislação implementada foi fundamentada em factores: políticos, urbanísticos, económicos, sociais e ecológicos

(França, 1989). O sucesso da reconstrução da cidade deve-se à correcta interligação dos factores anteriormente citados, promovendo em grande escala o interesse e participação pública.

Segundo opinião de Mira (2007), estavam assim lançadas as bases daquela que se viria a mostrar como uma das mais admiráveis reconstruções de uma cidade após uma catástrofe.

2.1.1. Caracterização arquitectónica

Na época Pombalina houve uma crise habitacional proveniente dos danos causados pela catástrofe (Pinho, 2008). Assim, devido à necessidade de elevado volume de edifícios a construir, surgiu o conceito de quarteirão (Mascarenhas, 2005). Cada quarteirão, de morfologia rectangular, é composto por um conjunto de edifícios idênticos, incluindo zonas comuns, tais como logradouros (Lopes & Bento, 2010). O conceito de quarteirão implica o funcionamento estrutural conjunto, ou seja, os edifícios agregados funcionam conjuntamente e não em separado (Miranda, 2011).

A arquitectura Pombalina é caracterizada pela simplicidade e ausência de decoração das fachadas dos edifícios, isto porque devido à carência habitacional existente na época, a funcionalidade e qualidade da construção foram privilegiadas em detrimento da decoração e adorno das fachadas. As fachadas apenas apresentam como adorno as molduras (janelas e portas) e cunhais em alvenaria de pedra trabalhada (Appleton, 2011; Teixeira, 2010). Os edifícios apresentam três a quatro pisos, acrescidos de mansarda. O pé-direito no piso térreo é cerca de 3,70 metros e nos pisos superiores ronda os 3 e 3,20 metros (Farinha, 2012). Na **Figura 2.4**, pode-se observar as características arquitectónicas dos típicos edifícios pombalinos.

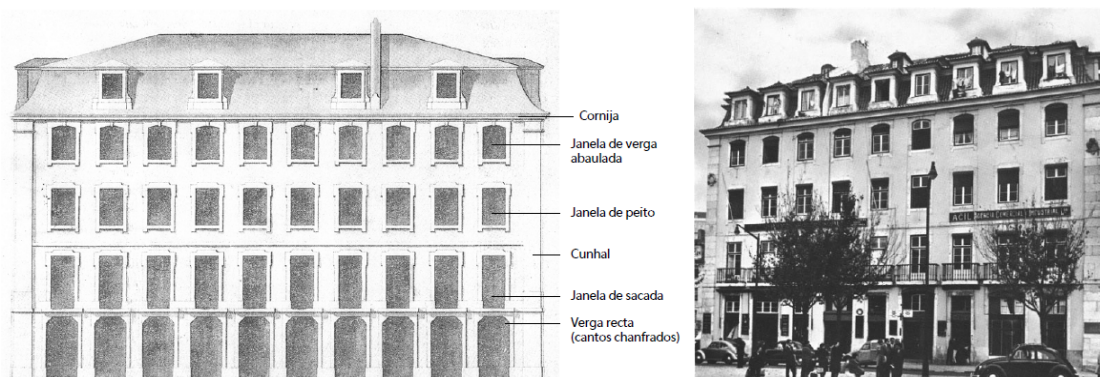


Figura 2.4: Representação esquemática e imagem real de edifício Pombalino da Avenida 24 Julho (França, 1989)

Porém, a uniformidade não implica que estes edifícios não apresentem elevado valor patrimonial, muito pelo contrário, as técnicas construtivas e os materiais utilizados revelam um elevado grau de conhecimento do comportamento das estruturas e contribuíram para uma época de excepcional depuração tecnológica (Appleton, 2011).

2.1.2. Caracterização estrutural e construtiva

A construção pombalina foi um processo pioneiro, por se tratar de uma intervenção com carácter anti-sísmico. O conhecimento anterior do comportamento da madeira permitiu a utilização do material numa perspectiva nunca antes utilizada. Segundo Appleton (2011), o apuramento técnico era tal que não seria hoje possível fazer melhor, com os materiais disponíveis, para alcançar estruturas robustas e duráveis que envergonham, pela sua qualidade, muitos técnicos contemporâneos. A madeira está presente neste tipo de edificação na maioria dos elementos construtivos: fundações, paredes, escadas, pavimento e cobertura.

Actualmente, muitos destes edifícios que apresentavam uma vida útil elevada, dada a excelente qualidade, encontram-se com problemas estruturais que podem comprometer a segurança dos habitantes e cidadãos que circulem junto do mesmo. Este facto deve-se essencialmente a duas razões: falta de inspecção e manutenção da estrutura de madeira e alterações na estrutura do edifício (Appleton, 2011). A madeira é um material natural e consequentemente é muito susceptível a degradação, o que na ausência de inspecção e acções correctivas pode provocar danos muito graves para a estrutura. As alterações realizadas nos edifícios têm por objectivo satisfazer as necessidades dos habitantes mas induzem esforços não previstos inicialmente, aumentam a vulnerabilidade estrutural e diminuem a capacidade de dissipação de ondas sísmicas (Ramos & Lourenço, 2000). As principais alterações verificadas são: acrescento de pisos, corte de pilares ou paredes resistentes de alvenaria, interrupção das paredes de gaiola, entre outros.

Este capítulo apresenta, resumidamente, as características dos componentes estruturais incluindo: função, composição e dimensões correntes.

2.1.2.1. Fundações

O terreno na zona da Baixa de Lisboa é composto por material aluvionar, ou seja, sedimentos clásticos de granulometria variada: argila, areia e cascalho (Farinha, 1995). A presença deste tipo de material deve-se ao facto da Baixa Lisboeta se localizar sobre um antigo braço do rio Tejo, isto porque são materiais naturalmente transportados e depositados pelos cursos de água. Trata-se de material maioritariamente grosseiro, desagregado, mal compactado e consequentemente com pouca capacidade resistente. Este foi o motivo pela qual a Baixa foi um dos locais mais abalados pelo sismo (Mascarenhas, 2005). A camada superficial de aterro é heterogénea e é composta por material cerâmico e blocos de alvenaria resultantes dos escombros provocados pelo terramoto de 1755. Na Baixa Pombalina verifica-se a presença de nível freático a aproximadamente 3,5 metros de profundidade (Ramos & Lourenço, 2000). A presença de nível freático é um aspecto condicionante na

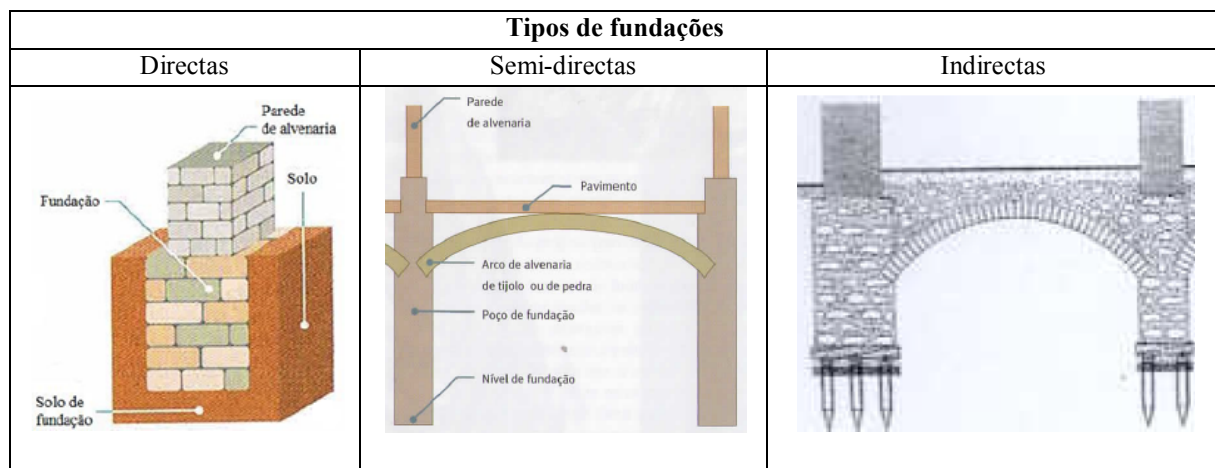
tomada de decisão do tipo de solução construtiva de fundação a aplicar, bem como o tipo de solo existente no local.

Nos edifícios considerados como antigos, as fundações podem ser de três tipos: directas, semi-directas e indirectas. Segundo Brito (2004), a diferença entre os três tipos de fundações baseia-se no método de transmissão de cargas e nas dimensões do elemento:

- Fundações directas ou superficiais: se $D < 4B$;
- Fundações semi-indirectas ou semi-profundas: se $4B < D < 10B$;
- Fundações indirectas ou profundas: se $D > 10B$.

Em que as letras D e B correspondem à altura e largura da fundação, respectivamente. No caso de fundações indirectas, a letra B corresponde ao diâmetro das estacas. Os três tipos de fundações estão ilustrados no **Quadro 2.2**.

Quadro 2.2: Representação esquemática dos tipos de fundações (Adaptado de Appleton, 2011)



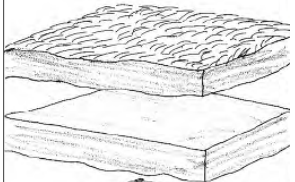
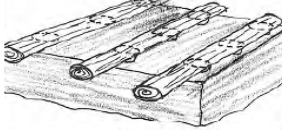

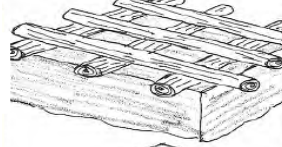
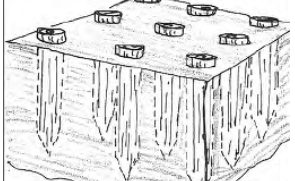
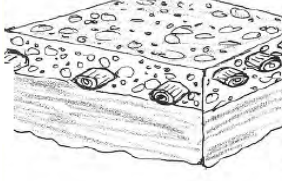
As fundações directas eram constituídas por alvenaria de pedra e são a continuação das paredes resistentes. A qualidade do material de fundação, bem como a sua largura, varia em função das características resistentes do terreno. Em terrenos com menor resistência, verifica-se o alargamento da parede resistente na zona de fundação, para aumentar o contacto e a interacção entre a fundação e o solo. Ainda assim, este tipo de solução construtiva aplicava-se em terrenos com alguma resistência, por se tratar de soluções pouco superficiais. Contudo, apesar de se tratar de uma solução aplicada essencialmente à superfície, também pode ser aplicada em profundidade (relativamente baixa) através da execução de caves em que o primeiro pavimento assenta sobre a camada resistente do terreno (Appleton, 2011).

As fundações semi-directas são utilizadas quando as camadas superficiais do terreno não têm capacidade suficiente para absorver as solicitações impostas pela estrutura e a camada de solo

resistente se localiza a uma cota mais profunda. Este tipo de fundação recorre à realização de poços ou pegões de alvenaria de pedra juntamente com arcos do mesmo material (ou eventualmente de tijolo cerâmico) apoiados no topo. Os poços têm a altura necessária para atingir a camada resistente do terreno e os arcos facilitam a transmissão de forças de compressão. Neste tipo de método construtivo, a alvenaria é de boa qualidade, visto que as camadas superficiais do terreno se apresentam menos capacitadas para a recepção dos esforços impostos pela edificação (Appleton, 2011).

No caso da camada resistente do terreno se apresentar em profundidade, a solução mais adequada em termos de viabilidade e segurança é a execução de fundações indirectas através da utilização de estacaria. Foi a solução mais comum para as fundações dos edifícios Pombalinos situados na Baixa, visto que, em alguns locais o material de aterro e aluvionar atinge a profundidade de 30 metros (Ramos & Lourenço, 2000). A execução de estacas respeita a sequência apresentada no **Quadro 2.3**.

Quadro 2.3: Sequência de execução de fundação indirecta (Ramos & Lourenço, 2000; Adaptado de Pinto, 2011)

	<p>1ª Fase: Preparação da plataforma de trabalho</p>		<p>4ª Fase: Apoio das longarinas nas estacas</p>
	<p>2ª Fase: Implantação das estacas</p>		<p>5ª Fase: Apoio das travessas nas longarinas e fixação conjunta à cabeça das estacas</p>
	<p>3ª Fase: Cravação das estacas</p>		<p>6ª Fase: Execução de massame de envolvimento da grelha e da cabeça das estacas</p>

As estacas utilizadas são de madeira de pinho verde e são unidas superiormente por um sistema de grelha de madeira, composto por peças de madeira dispostas em duas direcções perpendiculares entre si (longarinas e travessas de madeira redonda) e ligadas por cavilhas de ferro forjado à cabeça da estaca (Mascarenhas, 2005; Appleton, 2010). Este sistema funciona conjuntamente com o prolongamento das paredes resistentes e com os arcos de alvenaria, já referidos anteriormente e permite a distribuição uniforme das cargas provenientes do edifício sobre as estacas. Para a cravação das estacas é necessário que as camadas de solo sejam brandas de modo a não danificar a ponta da mesma (Appleton, 2011).

No **Quadro 2.4**, pode analisar-se as dimensões e geometria dos elementos utilizados na execução de fundações.

Quadro 2.4: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos das fundações (Ramos & Lourenço, 2000; Appleton, 2011)

Tipo de Fundação	Geometria e dimensões correntes
Fundação directa	▪ Prolongamento das paredes resistentes (sem dimensão padronizada)
Fundação semi-directa	▪ Poços quadrangulares de 3 em 3 m, com 1 m de lado
Fundação indirecta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Travessas e longarinas de madeira redonda com 0,15 m de diâmetro e comprimento de 1,5 m ▪ Estacas com diâmetro de 0,15 a 0,20 m de diâmetro e espaçadas de cerca de 0,30 a 0,40 m

2.1.2.2. Pavimento

A constituição dos pavimentos da época Pombalina difere em função da sua localização espacial: piso térreo, piso do 1º andar e restantes pisos. O pavimento térreo era composto, normalmente por uma camada base de enrocamento de pedra, seguido do revestimento final (Appleton, 2011).

No caso do 1º piso de alguns edifícios, observa-se a existência de uma estrutura em arco e abóbada antes da estrutura de madeira do pavimento. Os arcos são o elemento chave para a construção das abóbadas e permitem a transmissão de esforços das abóbadas para as paredes resistentes ou pilares. Para o nivelamento da zona superior das abóbadas, procedia-se ao seu enchimento com materiais resultantes dos escombros do terramoto. Tal como o pavimento térreo, o primeiro piso elevado recebe um revestimento final de pedra (Ramos & Lourenço, 2000).

Segundo Appleton (2011) e Ramos & Lourenço (2000), esta solução apresenta algumas vantagens, entre as quais:

- Limitar o contacto entre a madeira e a água ascendente ou eventual subida do nível do rio, formando uma barreira eficaz;
- Vencimento de vãos superiores, isto porque o piso térreo destinava-se a zonas comerciais e por esta razão, os espaços interiores deveriam apresentar-se mais amplos em relação aos pisos superiores. Assim, a estrutura em arco permite o vencimento de um vão maior, em relação à estrutura vigada do pavimento, de modo a evitar comprimentos elevados das vigas;
- Evitar a propagação de fogo do piso térreo para os pisos superiores.

Na **Figura 2.5**, apresenta-se o esquema comportamental da estrutura em arco e uma imagem exemplificativa. A execução do sistema de abóbadas e arcos pode acarretar uma desvantagem: o peso exercido pela alvenaria cerâmica e de pedra. Porém, este factor torna-se insignificante e até vantajoso devido à compressão e carga exercida funcionarem como forças estabilizantes da estrutura (Rocha, 2008).

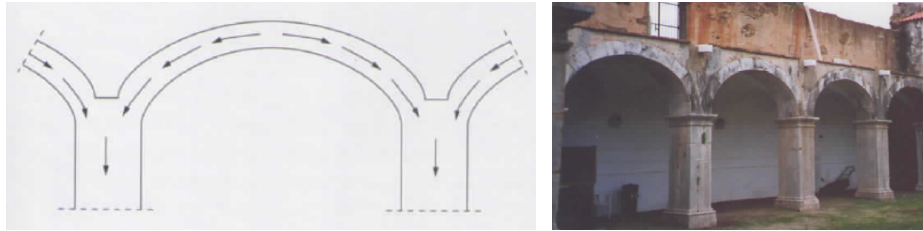
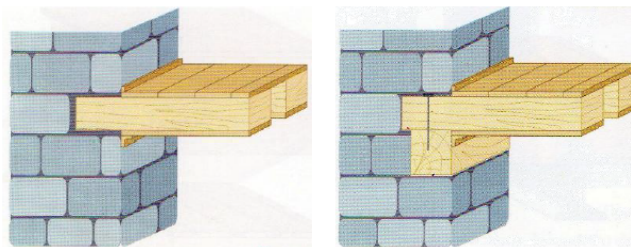


Figura 2.5: Esquema e imagem de distribuição e transmissão de esforços dos arcos para as paredes resistentes (Appleton, 2011)

A estrutura dos pavimentos elevados é constituída por um conjunto de vigas ou barrotes de madeira de secção rectangular, paralelas entre si e apoiadas ou encastradas nas paredes resistentes, tal como se pode constatar na **Figura 2.6** (Appleton, 2011).



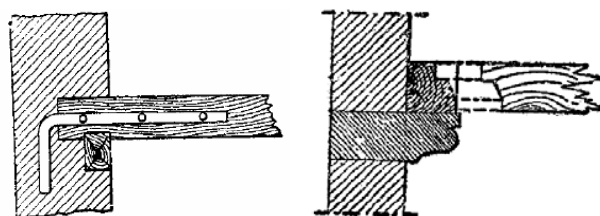
Apoio de viga de madeira em parede de alvenaria de pedra

Apoio de pavimento-parede através de frechal existente em parede

Figura 2.6: Ligações entre o pavimento e a parede resistente (Adaptado de Appleton, 2011)

Na opinião de Costa (1971), as secções das vigas devem apresentar arestas vivas, com o objectivo de facilitar a sua colocação em obra, pelo que devem ser evitadas secções com arestas chanfradas.

A ligação entre o pavimento e parede resistente pode ser reforçada com recurso a ferrolhos, peças metálicas com configurações variadas (**Figura 2.7**).



Utilização de ferrolho de esquadro

Cachorro embestado na parede resistente

Figura 2.7: Utilização de ferrolhos e cachorros nas ligações parede – pavimento (Segurado, 1942)

Outra solução muito comum é a execução de cachorros de pedra salientes nas paredes ao nível do pavimento, sobre o qual assentam as vigas (Segurado, 1942). O contraventamento das vigas é executado recorrendo a tarugos (vigas secundárias), colocados em sentido perpendicular às anteriores. Estes elementos funcionam como travamento das vigas, impedindo a deformação devido aos esforços

de deformabilidade transversal, torção e bambeamento. Consequentemente atribuem à estrutura maior rigidez e devido ao funcionamento conjunto entre os dois tipos de elementos, as vigas podem apresentar uma ligeira redução de secção (Segurado, 1942).

A ligação dos tarugos às vigas designa-se por entalhe do tipo “orelha derrabada” (**Figura 2.8**) e pode ser reforçada através de pregagem (Costa, 1971).

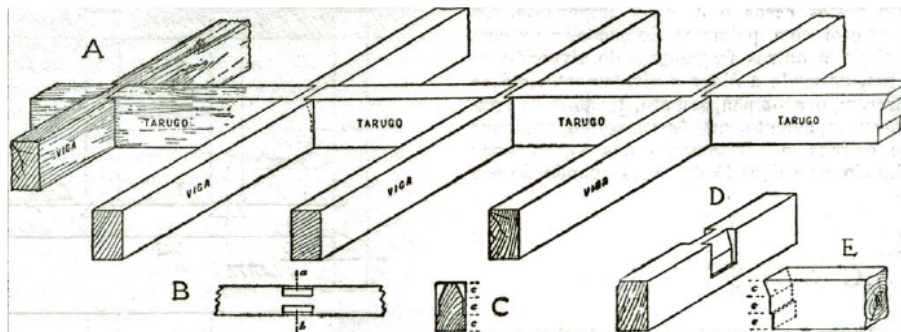


Figura 2.8: Tarugagem de vigamentos e ligação do tipo “Orelha derrabada” (Costa, 1971)

Legenda: A – vista geral do pavimento; Ligação: B – vista em planta; C – Corte da viga; D – Entalhe; E – Tarugo

Nos edifícios nobres do período Pombalino, o espaçamento entre vigas manteve-se igual à largura das vigas. Nos restantes edifícios do mesmo período, a regra não se verifica e consequentemente observa-se um espaçamento entre vigas superior (Appleton, 2011).

A última fase de execução do pavimento consiste na colocação de tábuas de soalho, em direcção perpendicular, sobre as vigas. Existem diversos tipos de ligações entre as tábuas, mas as mais utilizadas em Portugal são do tipo “meia madeira” (ou “meio fio”) e macho-fêmea (ou soalho à inglesa), representados na **Figura 2.9** (Costa, 1971).

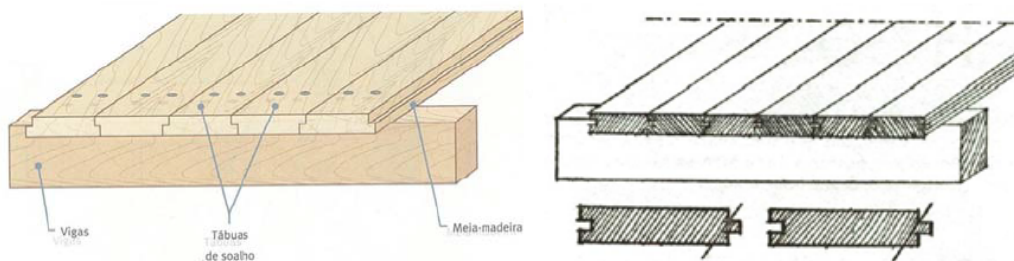


Figura 2.9: Ligação das tábuas de soalho do tipo “meia madeira” (Appleton, 2011) e “macho-fêmea” (Costa, 1971)

Assim, analisando a estrutura globalmente (paredes e pavimento) conclui-se que se trata de um conjunto solidário em que as vigas recebem as cargas impostas pelos pisos e descarregam os esforços nas paredes resistentes de alvenaria de pedra ou nos frechais das paredes de gaiola. A estrutura torna-se sólida através do bom contraventamento mas simultaneamente flexível, permitindo deslocamentos impostos pelas ondas sísmicas (Appleton, 2011).

O revestimento inferior dos pisos elevados pode ser executado com a pregagem de peças de pequena secção (fasquiado) às vigas, posteriormente preenchido com reboco e seguido de estuque (cal e gesso) como camada de acabamento (Mascarenhas, 2005). Neste caso a camada de reboco é vulgarmente denominada por camada pardo, por se tratar de uma argamassa de cal e areia. O fasquiado apresenta secção trapezoidal, sendo que é a base menor do trapézio que fica pregada à viga do pavimento do piso superior (Costa, 1971). Em alternativa à solução anterior, era corrente utilizar-se um forro do tipo “saia e camisa”. Esta técnica implica a fixação por pregagem de pranchas de madeira no espaçamento entre vigas (Mascarenhas, 2005), dando origem a uma zona de sobreposição. Como acabamento final, procede-se à aplicação de pintura (Costa, 1971). Na **Figura 2.10**, ilustram-se as técnicas já explicadas anteriormente.

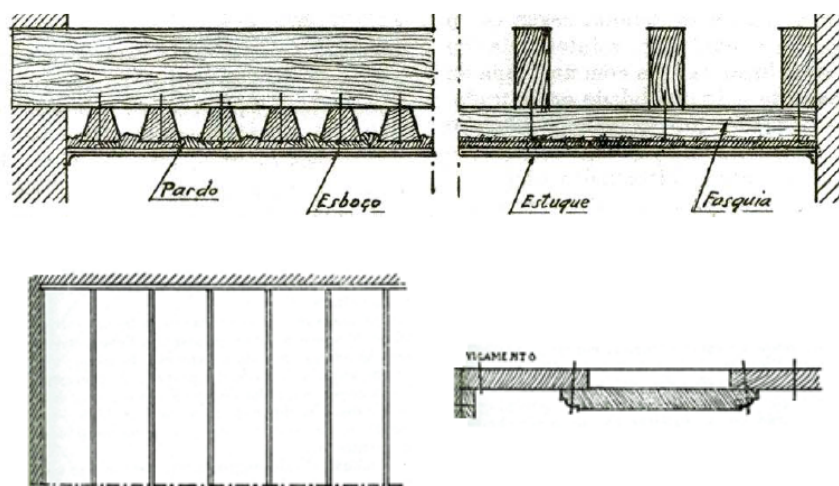


Figura 2.10: Revestimento inferior do pavimento: com recurso a fasquiado, reboco e estuque (corte transversal e longitudinal) e com recurso a forro do tipo “saia e camisa” (Costa, 1971)

No **Quadro 2.5**, são apresentadas as dimensões correntes dos elementos construtivos utilizados nos pavimentos dos edifícios Pombalinos.

Quadro 2.5: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos dos pavimentos (Ramos & Lourenço, 2000; Appleton, 2011)

Elemento construtivo	Geometria e dimensões correntes
Vigas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espaçamento de 0,30 a 0,40 m (entre eixo) ▪ Secção: 13x18 cm² ▪ Entrega nas paredes de alvenaria resistentes: 0,25 a 0,30 m ▪ Revestimento inferior: <ul style="list-style-type: none"> • Fasquiado: Espaçamento de 0,15 m • Pranchas madeira: Espessura de 0,01 a 0,02 m
Tarugos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Secções de 0,10 a 0,20 m de altura e largura
Tábuas de soalho	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Espessuras entre os 0,02 e 0,03 m

2.1.2.3. Paredes

A estrutura das paredes dos edifícios Pombalinos apresenta quatro tipos: paredes-mestras, paredes meeiras, paredes de gaiola e de tabique.

Ao nível do piso térreo, apenas existem as paredes-mestras compostas por alvenaria de pedra ordinária aparelhada. A elevada espessura das paredes-mestras contribui não só para a estabilização da estrutura como também impede e protege a zona interior contra a acção de agentes atmosféricos (chuva e vento). Em alguns edifícios verifica-se que a espessura das paredes de fachada decresce em altura, isto porque a carga actuante na mesma também diminui (Silva *et al*, 1994). Esta característica verifica-se essencialmente em edifícios construídos na transição de época Pombalina para Gaioleira (Appleton, 2011).

As paredes da fachada dos edifícios são de alvenaria de pedra e encontram-se solidarizadas com um pórtico tridimensional de madeira no interior. Segundo Ramos & Lourenço (2000) e Leitão (1896), para melhorar a ligação entre os dois componentes (parede de alvenaria e estrutura de madeira), a estrutura de madeira contém peças denominadas por mãos, que permitem a entrega da estrutura de madeira à parede de alvenaria. A alvenaria apresenta boa resistência a esforços de compressão e fraco comportamento a esforços de tracção e corte. O acabamento da parede era composto por um reboco de cal aérea.

As paredes meeiras também são de alvenaria de pedra, apresentam uma espessura inferior às paredes da fachada e prolongam-se após a cobertura, constituindo uma barreira entre os dois edifícios. Esta é uma das características dos edifícios Pombalinos que advêm do grande incêndio que deflagrou após o terramoto, para evitar que os fogos se propagem entre edifícios adjacentes, tornando-se assim um elemento corta-fogo (Ramos & Lourenço, 2000; Appleton, 2011).

A gaiola pombalina é o elemento estrutural que contribuiu para o avanço da engenharia e do comportamento anti-sísmico das estruturas. Isto porque foi concebida com o objectivo de quando sujeita a acções horizontais (provocadas pelo sismo), a estrutura reage dissipando a energia sem causar danos consideráveis, devido à leveza e flexibilidade (Ramos & Lourenço, 2000; Cachim, 2007).

A inovação da gaiola pombalina não está relacionada com a utilização da madeira como material estrutural, facto que já se verificava antes de 1755, mas sim com a análise do comportamento sísmico das estruturas. Para além disso, a estrutura de gaiola também já existia, porém após a catástrofe o sistema foi melhorado e aplicado de forma sistemática na generalidade dos edifícios construídos (Mascarenhas, 2005). O comportamento da gaiola pombalina foi analisado quando submetido a ensaios de carga dinâmica, através da marcha desfasada de militares sobre um edifício com o novo método construtivo (França, 1989). Com o ensaio foi possível simular os efeitos de um sismo e

consequente aceleração sísmica, comprovando-se assim o comportamento favorável e viável da estrutura a este tipo de acções (Ramos & Lourenço, 2000).

Segundo Lopes & Bento (2000), a Gaiola Pombalina consiste numa estrutura tridimensional treliçada de madeira, que resulta da interligação de diversas estruturas planas. Cada uma é constituída por um conjunto de barras de madeira formando triângulos. Esta é a única figura geométrica que não se pode deformar sem variar o comprimento dos lados. Como as barras resistem bem a este tipo de deformação, os painéis da Gaiola resistem muito bem a forças no seu plano. O conceito aplicado neste tipo de estrutura treliçada é actualmente utilizado noutro âmbito da engenharia civil: estruturas metálicas.

As paredes de gaiola localizadas no interior dos edifícios são denominadas por paredes de frontal. Estas paredes são compostas por três tipos de elementos: verticais (prumos), horizontais (travessas ou travessanhos) e diagonais (escoras ou travadores), que se encontram esquematizados na **Figura 2.11**.

Para além destes elementos, existem ainda os frechais, elementos que têm como função permitir a ligação da parede ao pavimento do piso. De acordo com Costa (1971), os três elementos indicados anteriormente são ligados entre si através de samblagem (sistema de entalhe e encaixe). A geometria dos elementos é em forma de cruz, vulgarmente designada por Cruz de Santo André. Os espaços entre os elementos de madeira são preenchidos com alvenaria fraca (por vezes pedra e material cerâmico resultante dos escombros) juntamente com argamassa de cal (Pinho, 2008; Appleton, 2011). As paredes são rebocadas e estucadas nas duas faces.

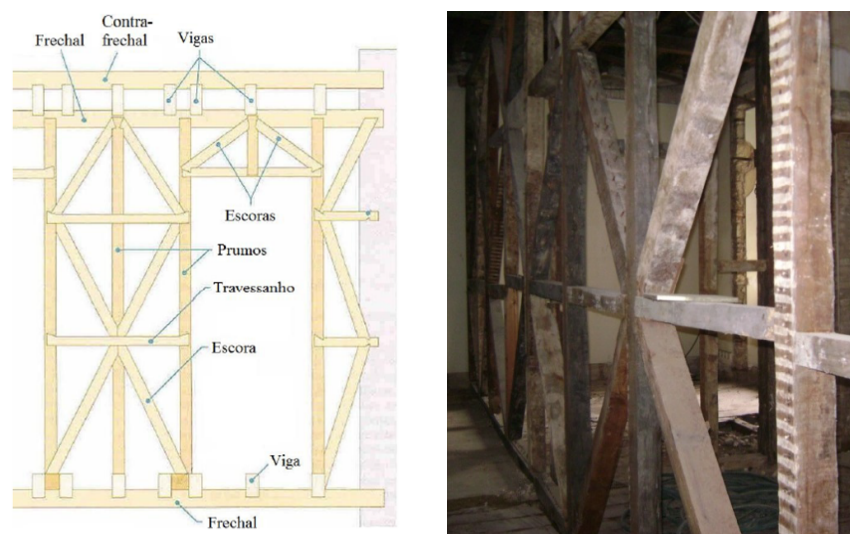


Figura 2.11: Esquema representativo da parede de frontal (Appleton, 2011) e pormenor da Cruz de Santo André (Edifício localizado na Calçada do Sacramento, Baixa de Lisboa)

As paredes de frontal e de tabique, representadas na **Figura 2.12**, funcionam como divisórias dos espaços interiores dos edifícios. Ao contrário das paredes de frontal, as de tabique não têm como

principal função o comportamento estrutural. Contudo, apresentam uma pequena resistência a esforços verticais (impostos pelas cargas dos pisos superiores), permitem a dissipação dos esforços horizontais (provocadas por sismos e vento) e contribuem para o travamento da estrutura (Miranda, 2011). Trata-se de mais uma das características dos edifícios pombalinos em que se pode observar que nenhum pormenor foi descuidado e todos os elementos constituintes apresentam uma qualidade construtiva muito eficaz e resistente ao fenómeno que abalou a cidade: o terramoto. Ainda assim, em termos de análise de comportamento estrutural, deve-se admitir que as paredes de tabique apenas desempenham as funções de compartimentação para as quais foram dimensionadas em que a «função estrutural é praticamente nula, não sendo por isso consideradas para o cômputo geral da resistência estrutural» (Appleton, 2011).

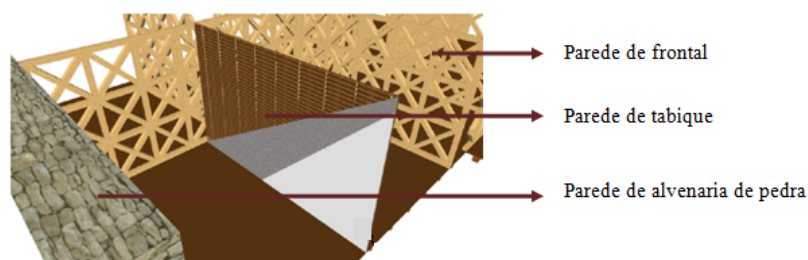


Figura 2.12: Paredes de frontal e tabique (Moreira, 2009)

As paredes de tabique simples também frequentemente designadas por paredes costaneiras são constituídas por: tábuas costaneiras e fasquiado (**Figura 2.13**). As tábuas costaneiras são elementos de madeira colocados na vertical, cuja fixação é executada por pregagem a uma calha localizada no pavimento e no tecto (régua de fixação). As costaneiras e o fasquiado podem apresentar secção rectangular ou trapezoidal. Existem outros métodos construtivos de parede de tabique, sendo que o apresentado se trata do método mais simples de executar (Costa, 1971).

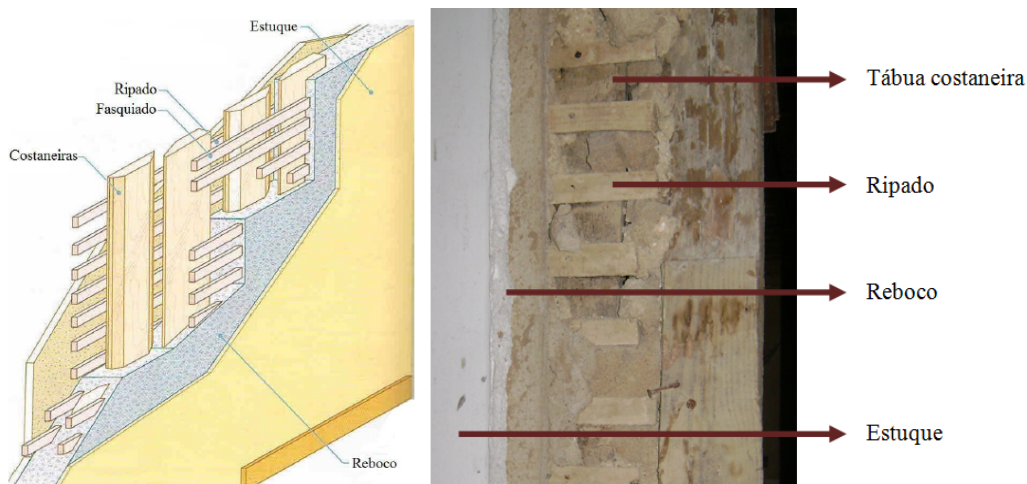


Figura 2.13: Esquema representativo (Appleton, 2011) e imagem real da constituição da parede de tabique (Edifício localizado na Calçada do Sacramento, Baixa de Lisboa)

O fasquiado é composto por elementos de madeira de pequena secção (ripas), pregados paralelamente e na direcção horizontal sobre as tábuas costaneiras (Henriques, 2011). O fasquiado tem duas funções: a primeira prende-se com o facto de servir como factor de travamento e de sustentação das costaneiras, por outro lado como segunda função, aumenta a rugosidade da parede e consequentemente permite uma melhor aderência da argamassa do reboco.

Tal como nos pavimentos, para o melhoramento da aderência entre o substrato (neste caso tábuas costaneiras) e o reboco, o fasquiado apresentava secção trapezoidal e era aplicado com a face maior para o exterior (Mascarenhas, 2005). Como acabamento final, as paredes de tabique eram rebocadas e estucadas em ambas as faces. A sua execução apenas se inicia após a execução da estrutura do pavimento e colocação das tábuas de soalho. No **Quadro 2.6**, estão presentes as dimensões correntes dos elementos constituintes já referidos anteriormente.

Quadro 2.6: Geometria e dimensões correntes dos elementos construtivos das paredes (Ramos & Lourenço, 2000; Appleton, 2011)

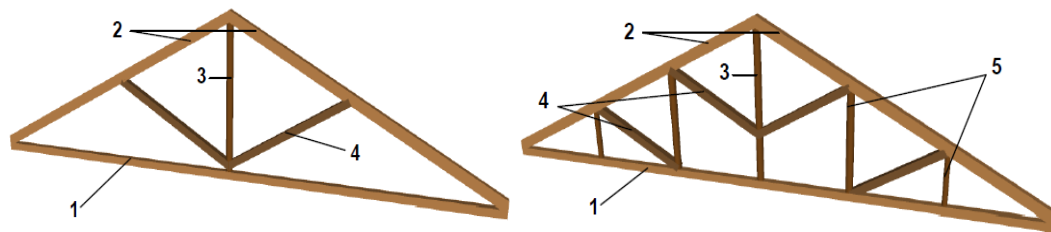
Elemento construtivo		Geometria e dimensões correntes
Parede resistente de alvenaria de pedra	Fachada	Espessura total: 0,9 m
	Meeira	Espessura total: 0,5 m
	Mãos	Comprimento de entrega: 1/3 da espessura da parede de alvenaria
Parede de frontal	Espessura total: 0,15 a 0,22 m	
	Prumos	Secção: 15x13 cm ²
	Travessas	Secção: 10x13 cm ²
	Escoras	Secção: 10x13 cm ²
Parede de tabique	Espessura total: 0,10 a 0,12 m	
	Costaneiras	Comprimento: 2,60 a 3,50 m Espaçamento: mínimo 0,01 m Secção: 18x (4,1 ou 5,5) cm ²
	Régua de fixação	Altura: 0,10 a 0,12 m
	Fasquiado	Espaçamento: entre 0,03 e 0,05 m Espessura: 0,015 ou 0,018 m Largura: máxima de 0,02 m

2.1.2.4. Cobertura

As coberturas tradicionais dos edifícios Pombalinos são geralmente triangulares e inclinadas, compostas por duas ou por quatro águas no caso dos edifícios de gaveto.

A estrutura da cobertura é constituída por um conjunto de asnas dispostas paralelamente. Existem vários tipos de estruturas de asnas em função dos elementos que a compõem e da sua organização estrutural, nomeadamente asnas: simples, mista (ou composta), lanternim, mansarda, tesoura, nível, alpendre, entre outras (Branco *et al*, 2010; Santos & Cruz, 2010). As asnas são compostas pelos

seguintes elementos: diagonal, pendural, perna, linha e tirante. (Appleton, 2011). As asnas mistas são frequentemente utilizadas em construções com vãos superiores e conseqüentemente apresentam maior complexidade estrutural quando comparadas com asnas simples (Martins, 2010). A constituição das asnas simples e mistas encontra-se apresentada na **Figura 2.14**.



1-Linha; 2-Perna; 3-Pendural; 4-Diagonal; 5-Tirante

Figura 2.14: Composição da estrutura da asna simples e asna mista (Moreira, 2009)

A linha da asna é um elemento horizontal que se encontra ligado em cada extremidade à perna e tem como função principal o seu travamento. O pendural é um elemento vertical localizado no eixo de simetria da asna. Trata-se de um elemento muito importante porque para além de definir o ponto mais alto da cobertura (cumeeira), torna o conjunto mais estável e equilibrado. A diagonal, também denominada por escora, permite a ligação entre o pendural e as pernas, impedindo que as mesmas se deformem. Os tirantes são elementos verticais que apenas estão presentes em asnas mistas. Por vezes, surgem elementos horizontais, denominados por níveis, que tal como as escoras, possibilitam o contraventamento da estrutura (Moreira, 2009).

As ligações entre os diversos constituintes das asnas são realizadas através de samblagens, ou seja encaixes entre as diferentes peças, por exemplo do tipo respiga-mecha entre a perna e a linha de asna (**Figura 2.15**). As ligações podem ainda ser reforçadas com elementos metálicos, tais como: cruzetas, pés de galinha, esquadros, braçadeiras, entre outros (Appleton, 2011).

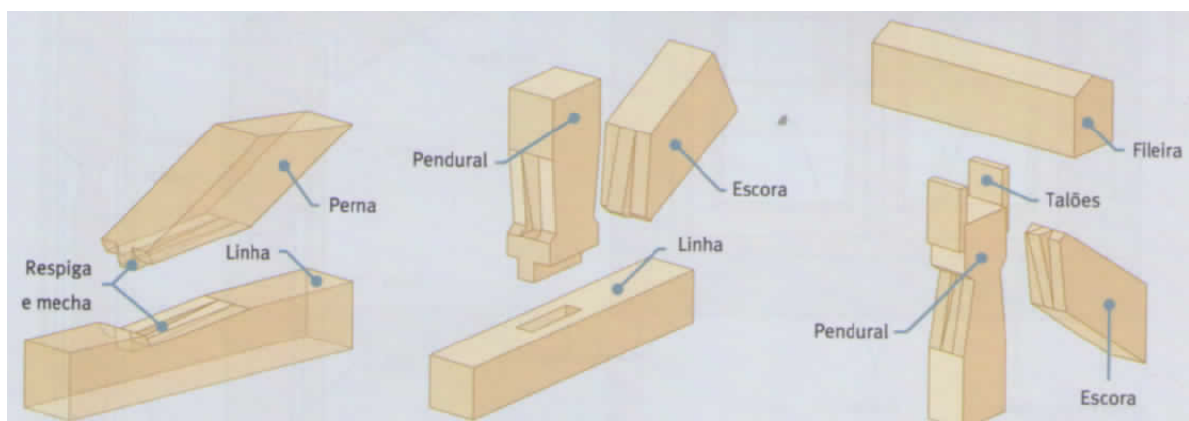


Figura 2.15: Ligações por samblagens (Appleton,2011)

O último piso dos edifícios, devido à inclinação da cobertura e consequente diminuição do pé-direito, não permite o conforto de habitabilidade. Com o objectivo de contornar o problema, surgiram as mansardas (**Figura 2.16**), coberturas com inclinação diferente em cada água, que permitem o aproveitamento racional de todo o último piso, aumentando a área habitável e melhorando o acesso às janelas (Gomes, 2011; Mascarenhas, 2005).

Apesar das vantagens, as coberturas amansardadas apresentam uma estrutura complexa e de difícil execução quando comparadas com as coberturas tradicionais.

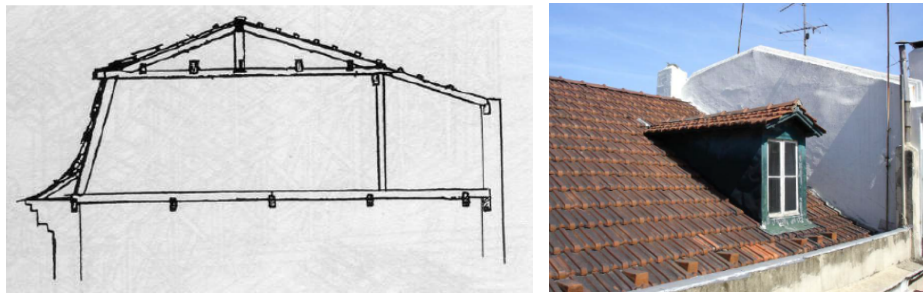


Figura 2.16: Estrutura de cobertura amansardada (Mascarenhas, 2005) e janela de trapeira (Miranda, 2011)

Neste período a qualidade da construção tornou-se exigente, dando-se valor a todos os aspectos que contribuíssem não só para o favorável comportamento estrutural mas também para as condições de habitabilidade dos cidadãos. É o caso da construção das janelas de trapeira ou de peito alto, elementos do último piso que melhoraram a iluminação e a ventilação do último piso (Mascarenhas, 2005).

A estrutura da cobertura encontra-se ligada às paredes de frontal e de alvenaria. No caso das paredes de Gaiola, os prumos e os frechais estão solidarizados com a cobertura, o que permite a sustentação das cargas da mesma. A ligação da cobertura às paredes de alvenaria resistentes é executada por meio de comprimento de entrega, elementos metálicos ou apoio em mísula (**Figura 2.17**).



Figura 2.17: Entrega de asna: representação esquemática com recurso a elementos metálicos (Appleton, 2011) e imagem real com recurso a mísula, elementos de alvenaria de pedra (Edifício localizado na Calçada do Sacramento, Baixa de Lisboa)

O local de entrega denomina-se por zona de cintagem superior e é composto por uma cimalha de alvenaria (ou cornija), zona de rebordo no topo de um edifício (Mascarenhas, 2005). A criação de um

sistema de cintagem, permite confinar a zona de ligação da cobertura e paredes, facilitando e promovendo o comportamento da estrutura como um todo. Em alternativa, as asnas podem assentar sobre os frechais das paredes de frontal.

Outra característica dos edifícios da época Pombalino, é a incorporação de clarabóias ou lanternins na cobertura dos edifícios, apresentado na **Figura 2.18**. A aplicação destes elementos nas coberturas permite a iluminação com luz natural normalmente na caixa de escadas, ou no caso de edifícios de maior valor patrimonial, no átrio principal (Costa, 1971).

Porém, por se tratar de uma cobertura não-tradicional a sua execução requer um grau de conhecimento e técnica mais complexo quando comparada com a típica estrutura tradicional.

Tal como nos restantes elementos construtivos, as ligações são as zonas singulares de maior importância em termos estruturais. Por esta razão, um erro de execução ou a degradação desta zona pode provocar grandes danos na estrutura com o colapso parcial ou total.

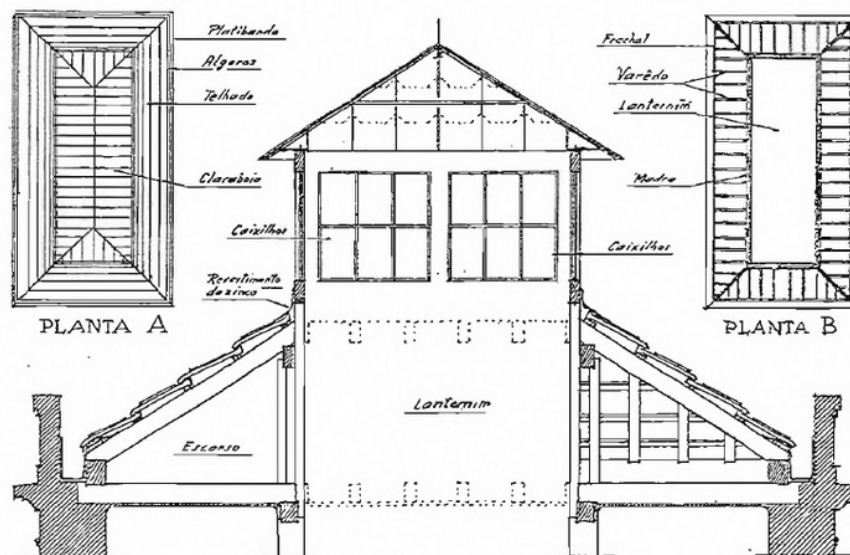


Figura 2.18: Telhado com lanternim (Costa, 1971)

2.2. Propriedades e características da madeira

Com este capítulo pretende-se esclarecer algumas das principais propriedades da madeira. Porém, apenas se trata de uma pequena síntese até porque actualmente existe uma vasta informação disponível e diversos estudos sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira.

A madeira é um dos materiais mais antigos utilizados na construção civil (Coutinho, 1999), em conjunto com a pedra, areia, barro e cal (Appleton, 2011). Apresenta elevada potencialidade na área,

tendo em conta que se trata de um material natural, renovável, reutilizável e reciclável, frequentemente denominado por eco-eficiente (Pala, 2007). Actualmente apresenta grande versatilidade em termos de aplicação, podendo ser utilizada para fins: estruturais, revestimento (pavimentos e paredes), decorativos, constituição de vãos, entre outros (Henriques, 2005). Por se tratar de um material de natureza biológica apresenta uma constituição muito heterogénea e anisotrópica, sendo que as suas propriedades variam consoante a direcção em causa: tangencial, axial ou radial. A heterogeneidade deve-se essencialmente à diferença entre os anéis de Outono e de Primavera de peça para peça, mesmo que se tratem de peças oriundas da mesma árvore, e também devido à variabilidade das propriedades mecânicas do material provocada pelas tensões internas associadas à retração (Mateus, 1961). A anisotropia reflecte-se na variação das propriedades físicas e mecânicas nas três direcções principais (Green *et al*, 1999).

Tal como se observa na **Figura 2.19**, a retração varia em função do teor de água, observando-se que com a retração axial é praticamente nula e a tangencial é cerca do dobro da verificada na direcção radial (Coutinho, 1999).

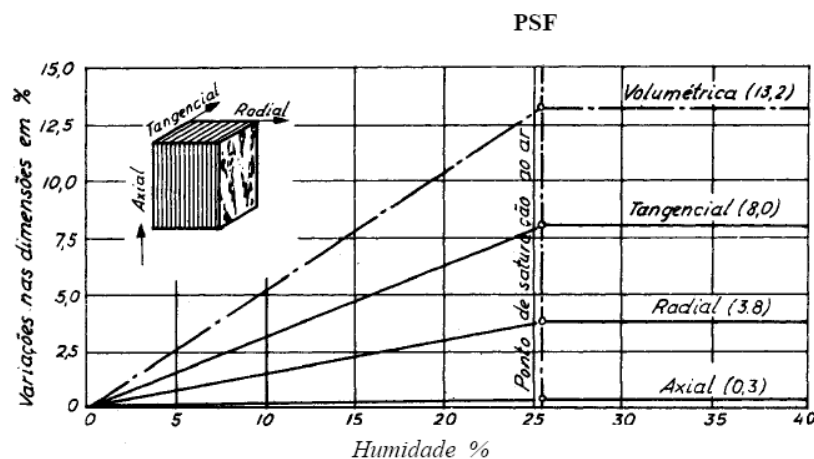


Figura 2.19: Curvas de retração da madeira (Mateus, 1961)

Para além destes factores, as propriedades resistentes deste material variam em função da espécie de madeira, da idade da árvore, das condições de crescimento e zona do tronco de onde foi retirada a peça, teor de água, duração das cargas, defeitos, entre outros (Mateus, 1961). Assim, a direcção do corte efectuado na madeira influencia o comportamento de retração.

A estrutura do material lenhoso também varia consoante grupo de madeira em que a espécie se insere, sendo que existem dois grandes grupos: Resinosas e Folhosas. O grupo das Resinosas ou Gimnospérmicas caracterizam-se por possuírem folha persistente (lineares, aciculares ou escamiformes). No caso das Folhosas ou Angiospérmicas, possuem folhas caducas ou perenes e apresentam formato largo e achatado (Coutinho, 1999; Ramos, 2010).

Na **Figura 2.20**, é apresentado um exemplo de corte de um tronco de madeira.

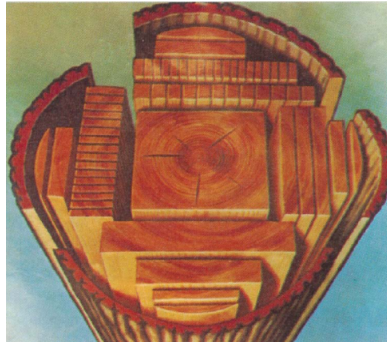


Figura 2.20: Exemplo de corte da madeira (Martins & Araújo, 2009)

Na **Figura 2.21** é apresentada uma secção transversal do tronco onde é possível observar a sua constituição (Martins & Araújo, 2009; Henriques, 2005):

- Casca (1): Camada exterior do tronco. Esta camada divide-se em: Ritidoma (2) e Entrecasco (3);
- Câmbio vascular (4): Camada responsável pela geração de lenho (para o interior) e casca (para o exterior);
- Lenho: É a camada aproveitada para a indústria e divide-se em: Borne (6) e Cerne (7). O Borne é a zona externa do lenho, enquanto que o Cerne é a zona central. A medula (8), apesar de fazer parte do lenho, é uma zona de baixas características mecânicas, podendo fazer baixar o valor da madeira.

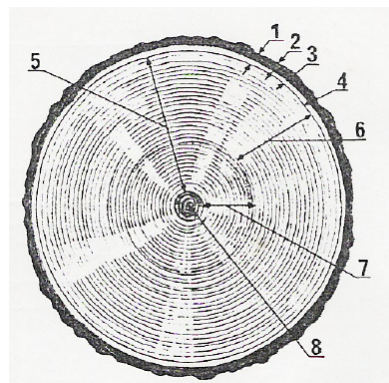


Figura 2.21: Secção transversal do tronco: constituição (Martins & Araújo, 2009)

Tal como nas restantes características mencionadas anteriormente, a resistência mecânica é função da espécie florestal e da qualidade das peças (Cruz, 2008). A qualidade das peças pode ser avaliada tendo em conta a presença de defeitos (quantidade e distribuição) e consequentemente o estabelecimento de

classes de qualidade e resistência a partir da apreciação visual, seguindo a normalização presente no **Capítulo 2.6.**

Na **Figura 2.22**, apresenta-se a variação da resistência mecânica (tração, compressão e flexão) em função do teor de água.

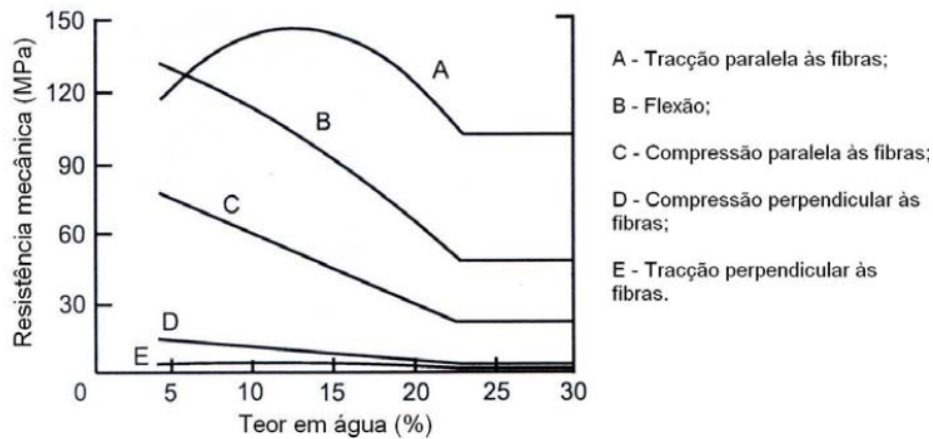


Figura 2.22: Efeito da variação do teor em água da madeira na resistência mecânica (traduzido por Henriques, 2011 a partir de Green *et al*, 1999)

Para além da influência do teor em água, a resistência mecânica é também influenciada pelo historial de cargas (tempo de aplicação e valor da carga) (Cruz, 2008).

Outra característica intrínseca do material é a sua massa volúmica. Este factor varia de espécie para espécie e em alguns casos, dentro da mesma espécie (Henriques, 2011). Segundo Cruz *et al* (2004), a massa volúmica pode dar algumas referências quanto à qualidade da madeira, isto porque na maioria dos casos, o aumento da massa volúmica corresponde ao aumento da resistência mecânica. Porém, o aumento da massa volúmica também implica geralmente maior retracção e dificuldades de laboração e secagem.

2.2.1. As vantagens da utilização da madeira como material de construção

No **Quadro 2.7** apresentam-se algumas das vantagens e desvantagens associadas à utilização da madeira no sector da construção.

Pala (2007) refere que a utilização da madeira como material de construção contribui para a sustentabilidade do sector, para além de que apresenta um custo de transformação muito inferior a outros materiais, nomeadamente: betão e aço.

Quadro 2.7: Desvantagens da utilização da madeira como material de construção (Adaptado de Henriques, 2005; Branco & Brito, 2012; Coutinho, 1999; Pala, 2007)

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Material natural, de regeneração contínua e com possibilidade de reaproveitamento ▪ Facilidade de trabalho e manutenção ▪ Boa resistência mecânica: capacidade de resistir tanto a esforços de tracção como compressão ▪ Boa capacidade resistentes a esforços de corte (sem apresentar fendilhação) ▪ Bom isolamento acústico, térmico e eléctrico ▪ Excelente relação resistência/peso próprio ▪ Facilidade na execução de ligações entre elementos ▪ Embora combustível, arde lentamente e a parte não carbonizada mantém a resistência mecânica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elevada heterogeneidade e anisotropia ▪ Vulnerabilidade a agentes externos (atmosféricos e biológicos) e durabilidade limitada (quando não são aplicadas quaisquer medidas preventivas) ▪ Material combustível (embora controlável com revestimentos ignífugos) ▪ Variação dimensional com o teor de água ▪ Limitação de dimensões ▪ Tendência para deformação por fluência

2.2.2. Durabilidade natural e classes de risco

A durabilidade natural é capacidade que a madeira tem de resistir ao ataque de agentes externos (ambientais e biológicos) sem a aplicação de tratamento preservador. Em termos de conservação, e apesar de todas as vantagens enumeradas no capítulo anterior, este material apresenta uma elevada susceptibilidade a ataque de agentes degradadores. Porém, é de salientar que a durabilidade da madeira varia consoante a espécie em causa (Branco & Brito, 2012). A durabilidade é também influenciada pela presença de borne ou cerne, sendo que o cerne é caracterizado por ser mais escuro e na maioria das vezes mais durável quando comparado com o borne (Cruz & Nunes, 2005).

Para o aumento da durabilidade da madeira é aconselhável a aplicação de produtos preservadores indispensáveis para a conservação do material. O sucesso da aplicação dos produtos depende da impregnabilidade da madeira, capacidade de absorção da madeira face á aplicação de tratamentos preservadores (Coutinho, 1999). Com o objectivo de reduzir a probabilidade de degradação biológica da madeira, foram estabelecidas Classes de risco, em função da localização, situação de serviço da peça e das condições higrotérmicas a que se encontrará sujeita (Henriques, 2005).

2.3. Abordagem da normalização existente

Ao longo dos anos, com o aumento do conhecimento das características e propriedades dos materiais, a normalização e legislação referentes à madeira, incluindo como material estrutural ou outra aplicação, tem evoluído conseguindo-se actualmente reunir algumas normas que facilitam a construção viável e segura com este material de construção. Segundo Appleton (2011), ainda se verifica alguma discrepância entre a quantidade de regulamentação existente para o betão em

comparação com os materiais tradicionais (madeira, alvenaria, entre outros), visto que as técnicas de construção tradicionais têm sido desvalorizadas. Seguidamente apresentam-se algumas normas relativas à utilização de madeira na construção:

- EN 338:2009 – Structural timber – Strength classes;
- EN 1995-1-1 – Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings;
- EN 14081-1:2005 – Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements;
- NP 4305:1995 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas: Classificação Visual;
- NP EN 335-1:2011 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 1: Generalidades;
- NP EN 335-2:2011 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça;
- NP EN 350-1:2008 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Parte 1: Guia dos princípios de ensaio e classificação da durabilidade natural da madeira;
- NP EN 350-2:2001 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados. Durabilidade natural da madeira maciça. Parte 2: Guia da durabilidade natural da madeira e da impregnabilidade das espécies de madeira seleccionadas pela sua importância na Europa;
- NP EN 1912:2013 – Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies.

2.4. Degradação biológica

A degradação biológica é uma das principais causas de degradação da madeira, sendo a responsável pela maioria das ocorrências de rotura parcial ou total das estruturas (Cruz, 2004). A instalação dos agentes degradadores varia em função da espécie da madeira e respectiva durabilidade natural, das espécies de agentes xilófagos e das condições em que a peça se encontra sujeita em termos de temperatura, água e oxigénio. Em função das características apresentadas anteriormente, a norma EN335-2:2006 (Durability of wood and wood-based products – Definition of use classes – Part 2:

Application to solid wood) estabelece as classes de risco para cada peça em função do risco de ataque e da exposição e colocação em obra, tema que será desenvolvido no **Capítulo 5.3**.

2.4.1. Agentes de degradação biológica

Neste capítulo serão abordados os seguintes agentes biológicos: caruncho, térmitas e fungos. Para cada agente xilófago são descritas as suas características específicas, o ciclo de vida bem como a degradação provocada nas peças de madeira.

2.4.1.1. Caruncho

Um dos agentes responsáveis pela degradação biológica da madeira é o caruncho, como por exemplo o caruncho grande, *Hylotrupes bajulus* L., e pequeno, *Anobium punctatum* (De Geer) (Faria, 2004). A presença de caruncho grande encontra-se generalizada de Norte a Sul do País principalmente em zonas específicas das construções constituídas por madeiras estruturais: pavimentos e coberturas. O caruncho pequeno também ataca os locais descritos anteriormente, mas também provoca a degradação em mobiliário (Cruz & Nunes, 2008).

Estes insectos provocam uma degradação extensa e severa na construção (Cruz *et al*, 1994), dando origem a um ataque generalizado desde que exista madeira susceptível ao ataque (alimento) e que se propiciem as condições higrotérmicas necessárias ao seu desenvolvimento. Devido à intensidade do ataque e consequentes danos provocados, a sua presença representa um elevado peso económico na reabilitação (Becker, 1979).

O período de vida dos insectos varia consoante o tipo de insecto em causa, mas também em função da disponibilidade de alimento, temperatura, teor de água, entre outros factores (Cruz & Nunes, 2008).


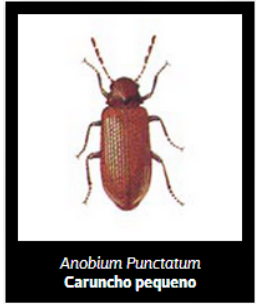
2.4.1.1.1. Espécie

Apesar de ambos, caruncho grande e pequeno, serem agentes xilófagos pertencem a espécies distintas e por essa razão, apresentam algumas características que os distinguem. O caruncho grande provoca maior destruição nas peças de madeira devido à sua maior dimensão em relação ao caruncho pequeno. O agente ataca o borne das resinosas e por vezes o cerne, a temperaturas superiores a 10°C e com teores de água baixos (Henriques *et al*, 2007) e apresenta um ciclo evolutivo muito variável (Mateus, 1961). No **Quadro 2.8**, pode-se observar algumas das particularidades dos insectos em questão.

O caruncho pequeno alimenta-se indiferentemente do borne de Resinosas e Folhosas (Martins & Araújo, 2005). Em comparação com o caruncho grande, este apresenta um ciclo de vida relativamente

curto, sensivelmente dois anos (Cruz, 2004). Ambas as espécies de caruncho se desenvolvem preferencialmente em locais pouco ventilados e com fraca iluminação.

Quadro 2.8: Agentes xilófagos: comparação entre caruncho grande e pequeno (Henriques, 2005; Faria, 2004)

	Caruncho Grande	Caruncho Pequeno
Espécie	<i>Hylotrupes Bajulus</i> L.	<i>Anobium Punctatum</i> (De Geer)
Ordem	<i>Coleoptera</i>	<i>Coleoptera</i>
Família	<i>Cerambycidae</i>	<i>Anobiidae</i>
Período de eclosão	14 dias	21 a 28 dias
Tamanho máximo da larva	20 mm	6 mm
Tamanho do insecto adulto	10 a 30 mm	2 a 4 mm
Acasalamento	Entre Julho e Setembro	Entre Maio e Agosto
Ataque	Resinosas	Resinosas e Folhosas
Duração do ciclo de vida	2 a 11 anos	2 anos
Dimensão do orifício de saída (no maior eixo)	5 a 10 mm	1,5 a 2 mm
Geometria do orifício de saída	Elipse	Circular
Imagem do insecto		

Porém, como foi referido anteriormente, estes insectos atacam preferencialmente madeira seca (14-18%) mas apresentam alguma resistência a oscilações térmicas, podendo suportar teores de água mais elevados (Nunes, 1997; Henriques *et al*, 2008). Ainda assim, Becker (1979) defende que a temperatura ideal para o desenvolvimento das larvas ronda os 28 a 31°C.

2.4.1.1.2. Ciclo de vida

O ciclo de vida do insecto é realizado por metamorfose completa, formada por quatro fases: ovo, larva, pupa e adulto (Henriques *et al*, 2008). Seguidamente são descritas as etapas de desenvolvimento (Henriques, 2005):

- 1) Deposição de ovos na madeira (poros, fendas ou juntas) pelos insectos adultos fêmea. O período no qual os ovos eclodem depende da espécie de insecto em causa;
- 2) Após três a quatro semanas, dá-se o nascimento da larva, seguida da sua penetração na peça, dando origem à formação de galerias interiores. Esta é fase de desenvolvimento do insecto, que provoca a destruição do elemento construtivo devido à formação de galerias resultantes da alimentação do caruncho (ingestão do amido celular ou celulose da madeira);

- 3) Na estação da Primavera, verifica-se a deslocação da larva para a zona superficial do elemento e após a construção do casulo transforma-se em pupa. Esta fase constitui o final do ciclo de larvar do insecto;
- 4) A pupa transforma-se em insecto adulto, abre um orifício de saída (normalmente de geometria circular ou elíptico) e emerge da madeira (Entre Maio e Setembro). Ao contrário da larva, o insecto adulto não se alimenta da madeira;
- 5) A reprodução dos insectos adultos provoca a continuação e repetição do ciclo, dando origem à elevada propagação da infestação no mesmo ou noutro elemento construtivo. A época de maior risco de infestação corresponde aos meses entre Maio e Setembro.

O ciclo de vida dos agentes biológicos depende da espécie, da disponibilidade do alimento, da temperatura e teor de água (Cruz, 2004).

O ataque da madeira por carunchos provoca a diminuição da secção do elemento estrutural, devido à abertura de galerias, provocando uma diminuição da resistência da secção útil (Cruz, 2011; Berry, 1994). Face à diminuição da secção, as tensões instaladas elevam-se e o elemento pode não suportar as cargas, podendo-se dar a rotura e o conseqüente colapso da estrutura. Assim, é fundamental o tratamento correcto das madeiras antes da sua colocação em obra, de modo a evitar a futura degradação biológica. Na **Figura 2.23**, apresenta-se o ciclo de vida do caruncho descrito anteriormente.

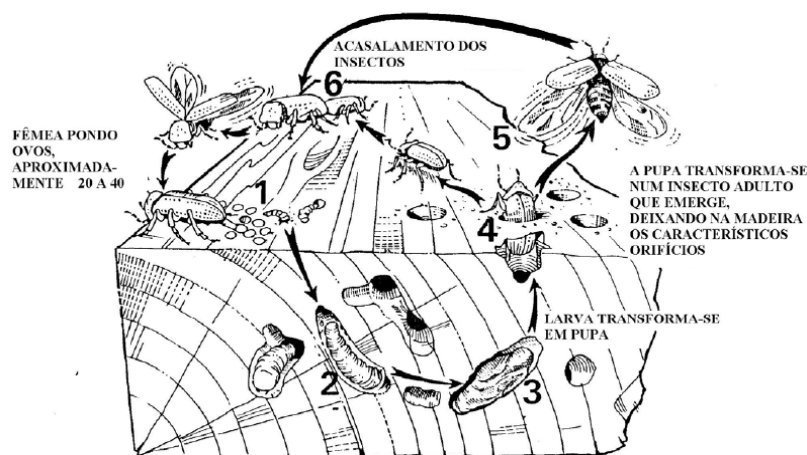


Figura 2.23: Ciclo de vida do caruncho (Hilditch, 1983)

2.4.1.1.3. Identificação do agente biológico

Tal como já foi referido, o caruncho alimenta-se do amido celular da madeira, o que provoca no seu interior a abertura de galerias. A acumulação de serrim (material de textura farinácea), no interior das galerias, exerce pressão sobre a camada superficial da madeira, provocando o seu enrugamento (ocorre maioritariamente quando a degradação se dá por caruncho grande). Devido a este acontecimento, a

superfície da madeira pode empolar e é facilmente ser retirada por um objecto cortante (**Figura 2.24**) com o objectivo de visualizar a profundidade de degradação da peça (Cruz, 2004; Henriques, 2011).



Figura 2.24: Presença de serrim (Berry, 1994)

Outro aspecto que identifica a presença de caruncho é o aparecimento de orifícios de saída (com ou sem montículos de serrim no exterior), que são resultantes da saída do insecto adulto da peça degradada (**Figura 2.25**). Estes orifícios pode apresentar configurações circulares, normalmente quando se trata de caruncho pequeno e elípticas quando se trata de caruncho grande (Cruz, 2004; Henriques; 2005).



Figura 2.25: Aspecto da madeira degradada por caruncho (Cruz, 2011) e pormenor de orifícios de saída (Palacete Ribeiro da Cunha)

Outro fenómeno indicador da presença de caruncho, neste caso de caruncho grande, é o ruído característico que as larvas produzem no acto de roer a madeira (Cruz,2004; Henriques; 2005). A secção resultante após o ataque do caruncho denomina-se por secção residual (**Figura 2.26**). Para a determinação da secção residual é necessário identificar a profundidade degradada, factor que pode ser quantificado recorrendo a meios de inspecção e diagnóstico não destrutivos (Cruz, 2011).



Figura 2.26: Ataque por caruncho: secção residual estimada assinalada a amarelo (Cruz, 2011)

2.4.1.2. Térmitas

As térmitas subterrâneas são insectos sociais, ou seja, habitam em comunidade e são incapazes de viver isoladamente (Highley, 1999). São animais que vivem no exterior das construções (Mateus, 1961), mas dirigem-se para estas com o objectivo de se alimentarem da celulose da madeira, principal fonte de alimento (Highley, 1999; Nunes, 2006). Porém, este ataque apenas se verifica a madeira humidificada, ou seja, cujo teor de água se localiza acima dos 20%, apesar de não atacarem meios saturados (Cruz, 2011; Arriaga *et al*, 2002). A presença de teor de água elevado pode advir de fontes de humificação relacionadas com deficientes técnicas ou danos construtivos (Cruz, 2004), como por exemplo: fissuras na fachada, rotura de canalizações, coberturas danificadas, entre outros. Assim, o ataque por térmitas é localizado e pode tornar-se gravoso, por exemplo: em entregas de pavimentos, ligações entre elementos de cobertura e paredes de frontal.

Estes insectos para além de procurarem um local húmido, também procuram um local abrigado da luz solar e onde se possam proteger das ameaças naturais (Faria, 2004; Cruz & Nunes, 2008; Arriaga *et al*, 2002).

Nas edificações, as térmitas têm preferência por se manter nas proximidades do piso térreo, até porque se localiza mais próximo do ninho, mas na eventualidade de neste piso não se encontrarem as condições favoráveis para o seu desenvolvimento, estas ascendem aos pisos superiores à procura de alimento, chegando muitas vezes a atingir a cobertura (se reunir as condições ideais para progressão da colónia) (Cruz, 2004). As térmitas deslocam-se em fila, criando túneis no interior da peça de madeira formados por partículas terrosas (provenientes do exterior) e secreções salivares (Henriques, 2005). Os túneis permitem o transporte dos alimentos da fonte para o ninho.

Por se alimentarem da celulose da madeira, as térmitas não se encontram apenas nas edificações com este material, mas também atacam árvores (raízes, arbustos, cepos) desde que mantenham as condições ambientais necessárias para o seu desenvolvimento (Henriques, 2011).

2.4.1.2.1. Espécie

A espécie de térmitas subterrâneas (**Figura 2.27**) responsável pela degradação biológica da madeira identificada em Portugal Continental é a *Reticulitermes lucifugos* Rossi. A espécie de térmitas pertence à Ordem *Isoptera* e é da Família *Rhinotermitidae*. Trata-se de uma espécie de térmitas autóctone na Europa Mediterrânica (Nunes & Nobre, 2006). No arquipélago dos Açores e da Madeira verifica-se o ataque de outra espécie de térmitas (*Cryptotermes Brevis* Walker), que não será abordada neste documento (Nunes & Nobre, 2006). Para a espécie em causa, Arriaga *et al* (2002) encontrou as condições óptimas para o seu desenvolvimento, rondando a temperatura de 30°C.



Figura 2.27: Térmitas subterrâneas (Nunes & Nobre, 2006)

Ao longo dos tempos, tem-se vindo a estudar as características desta espécie e a registar a sua ocorrência tanto em Portugal, como nos restantes países afectados. O primeiro registo em Portugal Continental remete para o início do século XX, sendo que já anteriormente esta espécie tinha sido identificada no ano de 1732 (Nunes & Nobre, 2006).

Devido ao grande impacto provocado pela degradação destes insectos, nos últimos 50 anos, têm-se vindo a registar as localidades afectadas por térmitas (**Figura 2.28**).

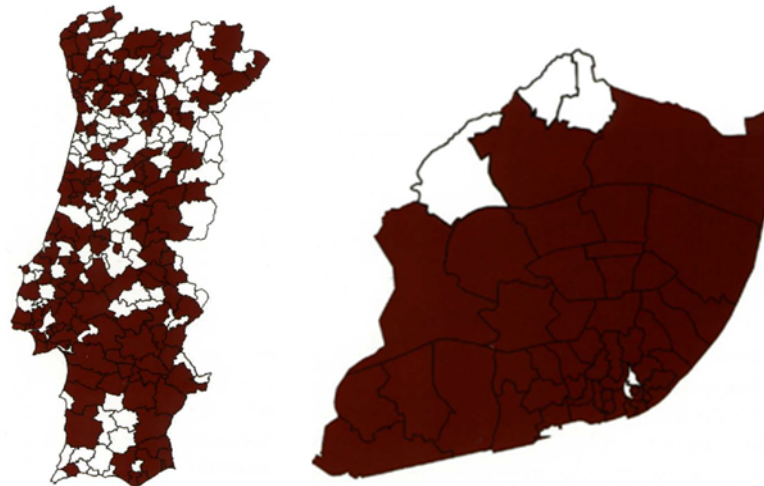


Figura 2.28: Localização (por Concelhos) das térmitas subterrâneas em Portugal Continental e sua distribuição nas freguesias da cidade de Lisboa (registos disponíveis) (Nunes & Nobre, 2006)

Nem em todos os Concelhos de Portugal Continental foi registada a sua presença, o que não significa que nesses locais não exista este tipo de agente degradador. Com efeito, pensa-se que as térmitas se encontrem disseminadas por todo o país (Nunes & Nobre, 2006).

Tal como já foi referido, as térmitas são insectos que vivem em sociedade hierarquizada num sistema de castas (colónia), sendo que cada elemento desempenha uma função fundamental para o desenvolvimento geral. As castas que compõem a espécie são: as obreiras (ou operários), os soldados e os reprodutores alados (Cruz, 2004; Nunes & Nobre, 2006) e estão representadas na **Figura 2.29**.

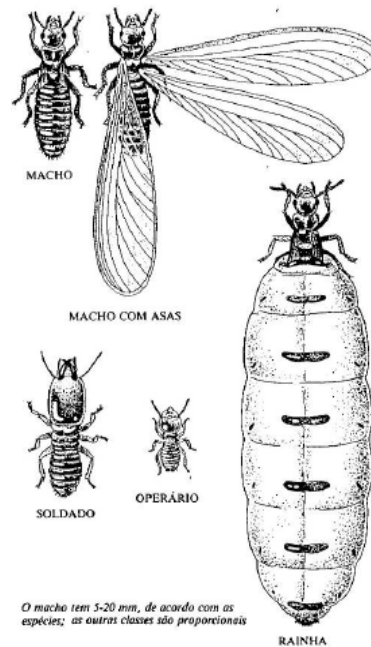


Figura 2.29: Térmitas subterrâneas: constituição da casta (Henriques, 2005)

Seguidamente serão apresentadas as funções e características de cada casta (Nunes & Nobre, 2006):

- Obreiras – São a casta mais numerosa comparativamente com as restantes. Estes insectos são os responsáveis pela maioria dos danos provocados na madeira. As obreiras e os soldados podem medir, no máximo, 1 centímetro;
- Soldados – São responsáveis pela defesa da colónia e por esta razão apresentam fortes mandíbulas;
- Reprodutores alados – Têm a função de reprodução da colónia e podem atingir um comprimento de 1,5 centímetros. Esta casta ainda se divide em reprodutores primários e secundários.

Os vários tipos de madeira existentes em todo o território nacional, na sua maioria, apresentam grande susceptibilidade ao ataque por térmitas (Nunes & Nobre, 2006; Nobre *et al.*, 2006), especialmente a madeira de pinho.

2.4.1.1.1. Ciclo de vida

O ciclo biológico desta espécie de térmitas é composto pelas seguintes etapas (**Figura 2.30**):

- 1) Os reprodutores alados abandonam o ninho para a reprodução entre os meses de Maio e Agosto. Antes da colocação dos ovos, os insectos perdem as asas. O ciclo biológico das térmitas varia consoante a espécie em estudo, mas em termos de valores médios, o tempo decorrido entre a colocação dos ovos e a fase adulta é cerca de quatro a sete meses. Nesta fase, os insectos podem

depositar os ovos na peça de onde saíram ou noutra peça que garanta as condições por eles desejadas;

- 2) Dá-se o nascimento da larva. Ao longo do seu crescimento a larva transforma-se em ninfa. Inicialmente as ninfas são alimentadas pela mãe com o objectivo de se tornarem obreiras. Ao início apenas se produzem obreiras para a formação do ninho. Quando estas já existem em número elevado, são produzidos soldados e reprodutores alados secundários (suplentes);
- 3) A rainha mantém-se na câmara real junto do rei. Esta é alimentada pelas obreiras que transportam o alimento para o ninho. A função da rainha é apenas a de colocar os ovos, de modo a assegurar a continuidade da colónia e repetir o ciclo biológico.

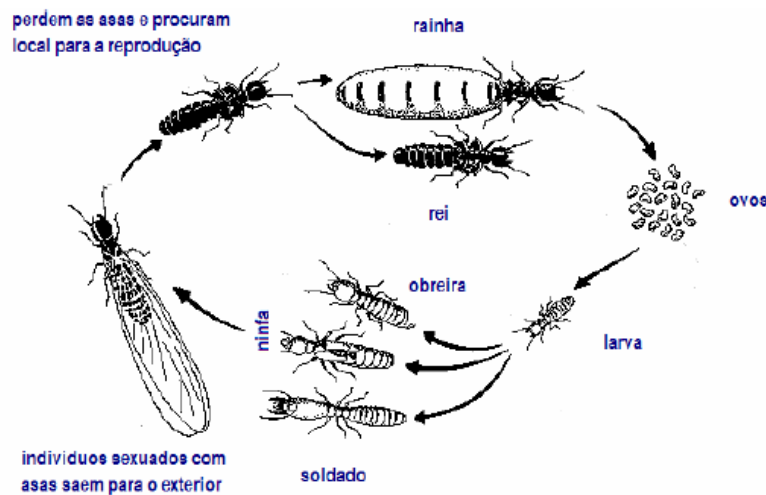


Figura 2.30: Ciclo biológico das térmitas (Júnior, 2006)

2.4.1.1.1. Identificação do agente biológico

O ataque deste agente xilófago é normalmente localizado e por esta razão podem originar situações graves para as peças de madeira. A identificação do ataque de térmitas subterrâneas, geralmente, apenas se dá numa fase já adiantada de degradação. Isto porque a degradação dá-se no interior da peça (Nunes & Nobre, 2003), deixando a camada exterior intacta (Henriques, 2005) com poucos ou nenhuns sinais exteriores da sua presença. A detecção é efetuada quando as galerias já são possíveis de visualizar à superfície da peça, apresentando um aspecto laminado, que coincide com o estado avançado da degradação e grande redução da secção resistente da peça (Cruz, 2004). O aspecto laminado resulta da destruição dos anéis de Primavera (madeira mais branda) e preservação dos anéis de Outono (Henriques, 2005; Júnior, 2006), tal como se observa na **Figura 2.31**.

As galerias apresentam-se sem serrim mas com concreções terrosas, que indicam também a presença dos insectos (Cruz & Nunes, 2008). O nível de degradação e conseqüentemente o tipo de intervenção a realizar depende do volume de madeira consumido pelos agentes biológicos (Cruz, 2004).

Habitualmente, o volume degradado é elevado o que significa que a recuperação da estrutura será de maior exigência e de difícil resolução.

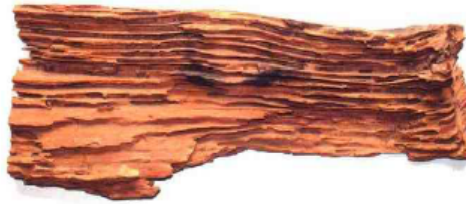


Figura 2.31: Degradação por térmitas: aspecto laminado (Cruz & Nunes, 2008)

Outro sinal de presença de térmitas é a ocorrência de enxameações, que corresponde à saída dos insectos reprodutores alados da madeira, ou o aparecimento de asas, que ocorre após a sua reprodução (Highley, 1999).

As térmitas provocam a diminuição da secção transversal e conseqüentemente redução da resistência mecânica. Tal como no ataque por carunchos, pode ser identificada a secção residual, mas neste caso devido à irregularidade das galerias abertas pelas térmitas, a definição da secção é dificultada. Ainda assim é fundamental, a percepção da percentagem de madeira consumida pelos agentes xilófagos (Cruz, 2011).

2.4.1.2. Fungos

O desenvolvimento dos agentes biológicos depende do conjunto de condições apresentadas no organograma seguidamente apresentado (Figura 2.32). As condições apresentadas são comuns a outros agentes xilófagos (carunchos e térmitas) e são determinantes para a sua instalação e reprodução.

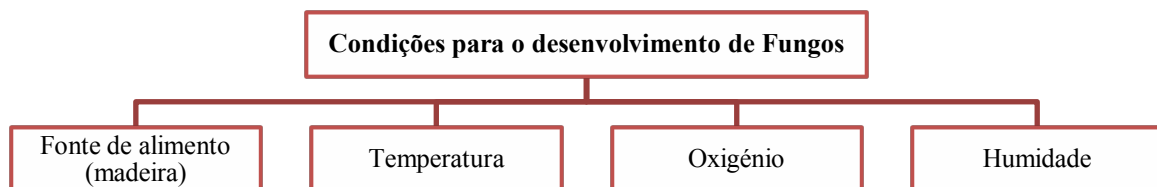


Figura 2.32: Condições de desenvolvimento dos fungos (Adaptado de Raberg *et al*, 2005).

Os fungos de podridão são agentes de degradação que atacam madeira com teor de água superior a 20%, mas nunca afectam madeira totalmente saturada porque necessitam de oxigénio livre para o seu desenvolvimento (Nunes *et al*, 1990; Cruz, 2004). Como o aparecimento dos fungos se encontra associado ao teor de água, normalmente o seu aparecimento dá-se em zonas com problemas localizados de humidade em pontos singulares e sensíveis da construção, normalmente expostos às condições atmosféricas (exemplo: caixilharias de janelas, portas e varandas, coberturas no caso de

telhas danificadas) (Cruz *et al*, 1994). Assim, muitas vezes, a eliminação da fonte de humedecimento é suficiente para a resolução do problema. Isto porque a secagem da madeira provoca a anulação da progressão dos fungos (Clausen, 2000; Henriques, 2011). É de salientar, que a secagem da madeira é um processo lento, principalmente em peças de maiores secções, o que pode provocar ainda alguma progressão do apodrecimento. Em casos mais graves, associado à eliminação da fonte de humedecimento será necessário reforçar ou substituir os elementos degradados (Cruz, 2004).

Normalmente, os fungos não degradam os elementos não expostos a agentes atmosféricos (Cruz & Nunes, 2008). Porém, no caso de estes se encontrarem em contacto com peças expostas a elevados teores de água, esta pode percolar por capilaridade e atingir peças que teoricamente não seriam susceptíveis ao ataque (exemplos: vigas, soalhos e cobertura). Para além do teor de água, os fungos manifestam-se principalmente a temperaturas entre 10 a 30°C, apesar destes agentes xilófagos suportarem oscilações significativas que não ultrapassem os 35-37 °C (Raberg *et al*, 2005).

2.4.1.2.1. Espécie

Os fungos que atacam a madeira dividem-se em duas classes distintas: os fungos de acção cromogénea e os fungos de acção destruidora ou de podridão (lenhívoros) (Henriques, 2005). Enquanto que os fungos de podridão necessitam de 20% de teor de água no mínimo para se instalarem na madeira, os fungos cromogéneos atacam preferencialmente peças com teores de água superiores a 25-30% (Henriques, 2005).

Os fungos cromogéneos não degradam significativamente a madeira, isto porque apenas consomem substâncias presentes nas células lenhosas da madeira sem afectar a parede celular das células, ou seja, alimentam-se de componentes não estruturais (Nunes *et al*, 1990; Feio & Lourenço, 2005). O ataque destes fungos apenas provoca uma alteração da cor da madeira, normalmente para tons azulados e cinzentos, dando origem à sua desvalorização devido ao aspecto manchado (Lopes, 2007). Ainda se verifica um ligeiro aumento da permeabilidade das peças, mas que não se torna um aspecto de significativa relevância. Apesar de não representarem um grau de risco elevado para a madeira, o aumento da permeabilidade proporciona uma maior higroscopicidade e como consequência aumenta a probabilidade de instalação de fungos de podridão (Abasolo, 1998). Contudo, em alguns casos, os fungos cromogéneos produzem enzimas inibidoras que impedem a instalação de outros fungos na peça onde estes se encontram (Pala, 2007). Entre eles destacam-se os bolores e fungos de azulamento. Estes fungos instalam-se sobretudo em madeiras resinosas e raramente em folhosas. O processo de reprodução e colonização dos fungos cromogéneos é acelerado, consumindo rapidamente o alimento.

No caso dos fungos de podridão, estes alimentam-se da parede celular da madeira (celulose, hemicelulose e lenhina), resultando na significativa alteração de toda a estrutura lenhosa (Henriques,

2011) e consequentemente perda de peso e de resistência mecânica (Cruz, 2004; Henriques, 2011). Por afectarem a estrutura lenhosa da madeira, o ataque deste fungo provoca grandes danos na estrutura. Neste grupo de fungos de podridão incluem-se: a podridão branca, castanha e mole.

2.4.1.1.1. *Ciclo de vida*

Na natureza, existem corpos frutíferos que produzem e libertam esporos que são transportados via aquática, aérea ou contacto (ferramentas de corte ou picada de insecto) (Cruz & Nunes, 2008). O esporo deposita-se na madeira e inicia-se o processo de germinação. Este mecanismo provoca o aparecimento de um filamento (hifa) que penetra na madeira e começa a ramificar-se, formando uma rede microscópica no substrato (**Figura 2.33**).



Figura 2.33: Presença de hifas em peça de madeira (Edifício localizado na Calçada do Sacramento, Baixa de Lisboa)

Os filamentos são essencialmente compostos por quitina, o que lhes confere alguma resistência. O esporo começa a produzir enzimas que decompõe a madeira, para que se possa alimentar dos seus componentes. Ao longo do seu desenvolvimento, o filamento cresce e as suas raízes alastram-se pela peça de madeira, aumentando a velocidade de degradação (Berry, 1994; Henriques, 2005). O ciclo de vida anteriormente descrito apresenta-se ilustrado na **Figura 2.34**.



Figura 2.34: Ciclo biológico dos fungos (Hilditch, 1983)

2.4.1.1.1. Identificação do agente biológico

O ataque dá-se sobretudo no borne e a nível geral (englobando várias espécies) verificam-se as seguintes consequências: alteração cromática, alteração da composição química, diminuição da densidade do material, aumento da higroscopicidade, aumento da retracção, diminuição da resistência mecânica e eventual colapso (Henriques, 2005). Porém, as consequências variam em função do tipo de fungo e das condições higrotérmicas existentes no local.

Tal como já foi referido, os fungos cromogéneos apenas se manifestam pela alteração da cor da peça de madeira. Na **Figura 2.35**, encontra-se diferenciado o ataque de fungos de podridão e cromogéneos.

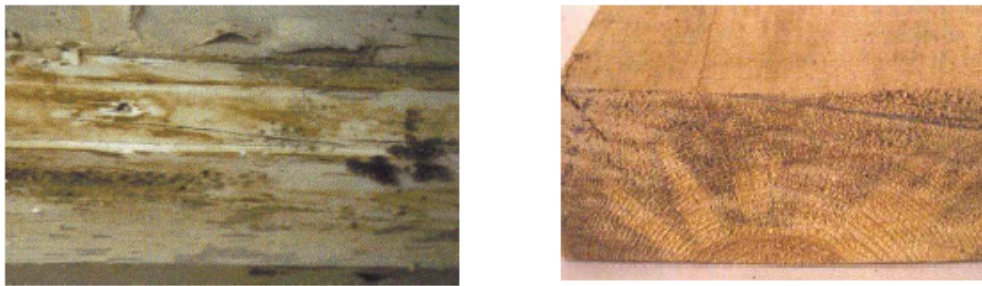


Figura 2.35: Aspecto de madeira degradada por fungos de podridão e cromogéneos (Arriaga,2002)

A madeira degradada por fungos de podridão pode apresentar um dos seguintes aspectos (**Figura 2.36**):

- Aspecto fibroso – Este aspecto é característico da degradação por fungos de podridão branca. Estes alimentam-se dos constituintes da madeira: celulose, hemicelulose e lenhina. A maioria dos fungos de podridão branca degrada preferencialmente a lenhina presente na madeira. Devido à degradação da lenhina, a madeira adquire uma aparência fibrosa;
- Fendas transversais profundas (apenas aparecem num estado de degradação avançado) – Como resultado do processo de consumo da celulose e hemicelulose, a madeira sofre retracção e provoca a abertura de fendas em duas direcções: longitudinal e perpendicular ao grão, resultando o aspecto cúbico (característico da podridão castanha) e esfarelado (**Figura 2.37**).

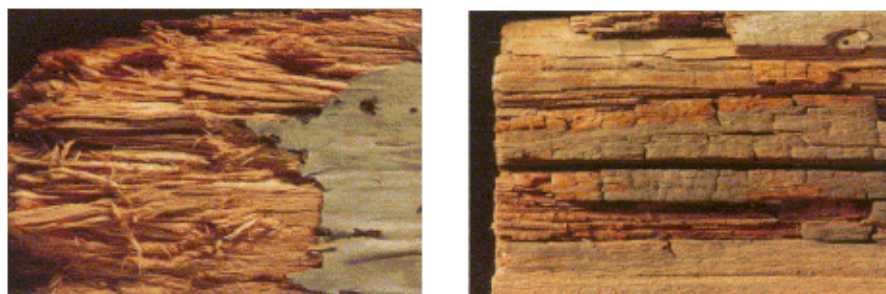


Figura 2.36: Aspecto de madeira degradada por fungos de podridão branca e castanha (Berry, 1994)

Geralmente, o ataque destes agentes em termos de secção transversal é difícil de quantificar. Assim, em casos mais gravosos, é prudente adoptar uma análise conservativa, para que não sejam introduzidos erros na análise, admitindo-se que toda a peça se encontra afectada. A análise deve ser realizada por técnicos especializados na área, visto que, muitas vezes, a identificação de podridão é confundida com outros aspectos, tal como: presença de sujidade e humidade (Cruz, 2011).



Figura 2.37: Podridão castanha (Edifício localizado na Calçada do Sacramento, Baixa de Lisboa)

Segundo Henriques (2005), outros factores que indicam o ataque por fungos são: cheiro a mofo, som a oco, alterações de configuração (empenamento e desintegração), alterações visuais (descasque da tinta, alteração de cor, amolecimento) e presença de humidade. Em suma, os fungos de podridão podem ser identificados pelas características presentes no **Quadro 2.9**.

Quadro 2.9: Tipos de podridão (Adaptado de Henriques, 2005)

Tipo de podridão	Aspecto da madeira degradada
Castanha	Cor castanha e fendilhação cúbica
Branca	Cor branca e aspecto fibroso
Húmida	Mole e húmido
Mole	Mole e esponjoso (à superfície)

3. Técnicas não destrutivas de inspecção e diagnóstico

A inspecção e diagnóstico de estruturas tem como principal objectivo a identificação das patologias para a posterior definição das possíveis técnicas de correcção adequadas a aplicar. A eliminação das patologias nem sempre é possível, pelo que nestas situações se deve actuar com o objectivo de minimizar os seus efeitos e adequar a construção às condições a que se encontra sujeita (Paiva *et al.*, 2006).

3.1. Objectivo e sequência de intervenção

As estruturas, independentemente do material estrutural utilizado, apresentam uma vida útil, que corresponde ao período após a construção, durante o qual o edifício (ou os seus elementos constituintes) excede os requisitos mínimos funcionais, para o qual o edifício foi projectado (ISO 15686-1:2011). O que não significa que durante o período de vida útil não sejam executadas acções de inspecção periódicas. Muito pelo contrário, as estruturas devem ser sujeitas a um rigoroso plano de inspecção para que seja verificado o seu estado de conservação e interpretado o funcionamento estrutural (Cruz, 2011 & Appleton, 2011). O reconhecimento correcto das patologias existentes permite a identificação das causas e a sua conseqüente eliminação através da aplicação de um tratamento curativo e/ou eventual reforço.

As operações de manutenção e conservação dos edificios permitem que o padrão de qualidade e desempenho das construções se mantenham semelhantes ao estado inicial (**Figura 3.1**). Por outro lado, as obras de reabilitação que incluam reforço e recuperação dos elementos degradados podem aumentar e melhorar o comportamento estrutural do edificado, atingindo níveis superiores aos verificados no fim da construção (Paiva *et al.*, 2006; Appleton, 2011).

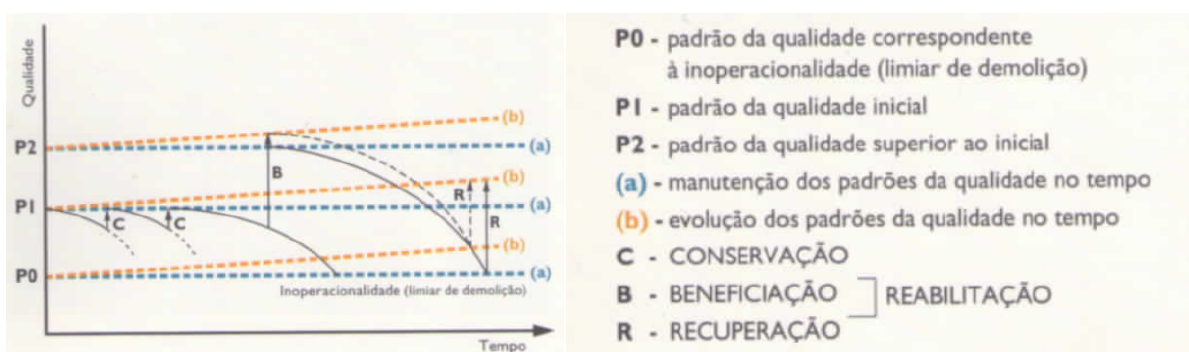


Figura 3.1: Evolução do estado de conservação e da necessidade de intervenções de beneficiação e reabilitação ao longo do tempo (Paiva *et al.*, 2006)

No caso do material em estudo, a madeira, a sua principal susceptibilidade está relacionada com o ataque de agentes biológicos. Por se tratar de um material natural requer um nível de preocupação muito diferente do aplicado ao betão armado. A inspecção e diagnóstico de patologias não se baseia apenas na sua correcção, mas também na prevenção através da aplicação de medidas preventivas. De acordo com o citado por Appleton (2011), a prevenção das anomalias é sempre o melhor caminho, quer do ponto de vista de plena utilização, quer do ponto de vista da economia global e como tal, tem de ser ensinada e incentivada.

Antes de qualquer intervenção de reabilitação e reparação da construção, a estrutura bem como os restantes elementos construtivos devem ser sujeitos a um pormenorizado e rigoroso plano de inspecção. Com isto pretende-se que toda a estrutura seja analisada, de modo a que possa ser elaborado um projecto de reabilitação, incluindo as medidas de correcção das patologias identificadas e de modo a restabelecer as exigências funcionais, estruturais e de segurança.

A inspecção e diagnóstico é uma actividade pluridisciplinar que engloba o conhecimento de diversas áreas da engenharia civil (materiais de construção, estruturas, geotecnia, entre outras). Para tal, a equipa técnica responsável deve ser constituída por técnicos competentes e especializados no processo. O sucesso da inspecção está directamente relacionado com a coordenação da equipa e colaboração entre as diversas especialidades (Paiva *et al*, 2006; Appleton, 2011). O processo de inspecção e diagnóstico pode ser resumido e esquematizado num organograma, tal como se apresenta na **Figura 3.2**.

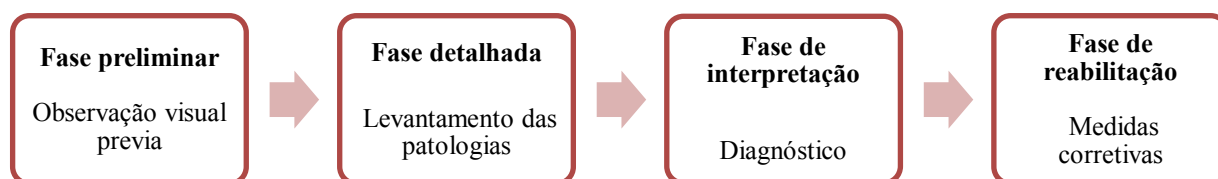


Figura 3.2: Organograma: Fases de inspecção (Adaptado de Cruz, 2011)

Segundo Cruz (2011), as primeiras duas fases do processo de inspecção apresentam as seguintes características:

- **Primeira fase – Inspeção preliminar**

Esta primeira fase qualitativa inclui uma visualização e apreciação geral da estrutura e reconhecimento das anomalias existentes, bem como os riscos associados e a identificação da espécie de madeira utilizada. Em todo o processo é imprescindível o conhecimento aprofundado do material em estudo, do seu comportamento e das técnicas de construção aplicadas (Branco, 2010). A inspecção geral da estrutura requer a avaliação dos pontos críticos e singulares, mesmo que não apresentem sinais

evidentes de deterioração (como por exemplo: humedificação em zonas de cobertura, junto à fachada e pouco ventiladas).

Nesta fase, devem ser consultados todos os dados disponíveis sobre a história da construção (data) e todas as obras executadas até à data da inspecção (manutenção, reabilitação, alteração, entre outras) (Cruz, 2011; Appleton, 2011). Sempre que possível devem ser consultadas as peças desenhadas pertencentes ao projecto de estrutura da construção.

Na avaliação do edificado é necessário quantificar o interesse artístico, histórico e arquitectónico, o que permitirá a planificação da abordagem a realizar na fase seguinte. É importante salientar que em obras de elevado valor patrimonial as características construtivas devem ser preservadas, evitando grandes alterações em termos de visuais para que a construção se mantenha o mais semelhante ao original (incluindo frescos e pinturas). Estes factores podem determinar o seguimento da inspecção e influenciar todo o processo de reabilitação (Paiva *et al*, 2006).

Em função dos dados recolhidos, esta fase permite a elaboração do plano de visita e inspecção detalhado a realizar na fase subsequente, incluindo os meios necessários para a sua execução. Para tal é necessário que sejam identificados os elementos a inspecionar e ensaiar na fase detalhada (zonas de risco), sendo que os restantes apenas serão sujeitos a uma inspecção geral.

▪ Segunda fase – Inspeção detalhada

A segunda fase de inspecção é uma etapa quantitativa e mais pormenorizada em relação à anterior. O processo deve ser realizado por técnicos competentes porque se trata de uma metodologia complexa e exigente que requer algum nível de conhecimento. Tal como na etapa anterior, o acesso ao local é imprescindível para a observação e análise do aspecto e das características dos elementos degradados (Cruz, 2011). O objectivo da fase detalhada é a quantificação da capacidade resistente da madeira. Para tal, é necessária a avaliação das propriedades seguidamente apresentadas no organograma da **Figura 3.3**.

Neste período após a identificação do estado e dos agentes responsáveis da degradação é possível quantificar a resistência da estrutura, os mecanismos físicos e químicos envolvidos e as relações causa-efeito (Cruz, 2011). A inspecção detalhada das estruturas requer a execução de ensaios através da utilização de equipamentos, que facilitam a compreensão do estado de degradação e o conhecimento de algumas características intrínsecas das peças (teor de água, dureza, entre outros) em conjunto com a informação obtida pela inspecção visual. A tipologia de ensaios a realizar é escolhida em função da observação realizada no local (Martins, 2009).

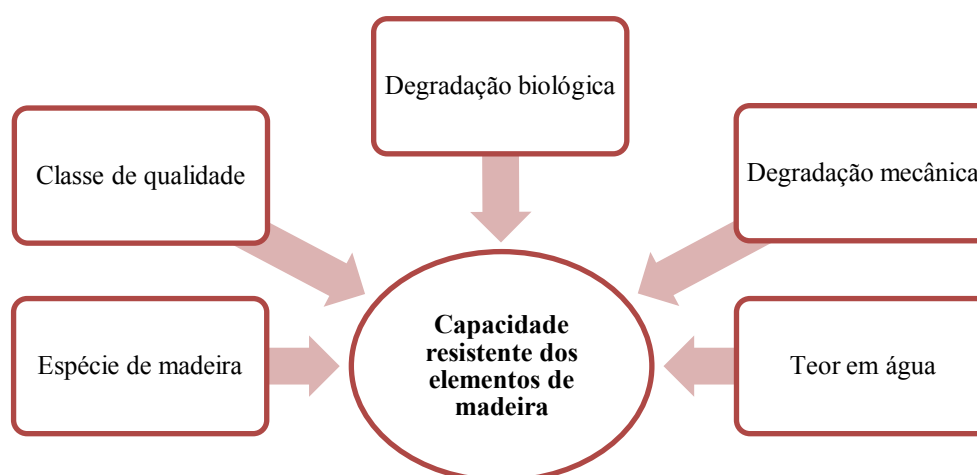


Figura 3.3: Organograma: capacidade resistente dos elementos de madeira (Adaptado de Branco, 2010)

Nesta fase são identificados os pontos críticos da estrutura, ou seja, as zonas com maior grau de degradação. A avaliação deve ser ponderada, no sentido em que não se deve tomar decisões de sobreavaliação ou subavaliação (Paiva *et al*, 2006).

Após a conclusão desta fase, segue-se a etapa de diagnóstico em que são ponderados e interpretados os dados. Segundo Palaia (2007), a elaboração do diagnóstico é a fase mais importante para a conservação das estruturas de madeira. Com os resultados obtidos elabora-se um modelo estrutural que possibilita a verificação do comportamento e da capacidade resistente da estrutura e facilita o estabelecimento das medidas de reabilitação a aplicar.

O rigor do diagnóstico depende directamente da informação recolhida e passível de ser consultada pelo técnico. Porém, a informação em abundância pode tornar-se prejudicial, pelo que deve ser o técnico a identificar os dados relevantes para a sua análise. No caso da reabilitação, que incide principalmente em edifícios antigos, o habitual é a inexistência de informação. Assim, a realização do diagnóstico é dificultada sendo que a «longa experiência profissional do técnico associada a uma sólida formação de base são requisitos indispensáveis» (Paiva *et al*, 2006).

Através da avaliação rigorosa das causas das patologias e identificação dos locais degradados é possível o estabelecimento de medidas correctivas para a resolução das mesmas. O processo é concluído com sucesso caso o tratamento curativo e preventivo actue eficazmente. As falhas no processo de inspecção podem induzir em erro o diagnóstico efectuado, prejudicando assim a estrutura através da aplicação de tratamentos não adequados ao caso em estudo (Martins, 2009).

3.2. Métodos e equipamentos

Os ensaios realizados *in situ* complementam a informação recolhida durante a inspeção visual pormenorizada de diagnóstico (Branco, 2010). Existem dois tipos de métodos de inspeção e diagnóstico de estruturas: destrutivos (DT) e não destrutivos (NDT) (Faggiano *et al*, 2009). Os ensaios destrutivos apresentam a desvantagem de inserir modificações na estrutura inicial, tal como: extração de carotes para a realização de ensaios laboratoriais (Cóias, 2007).

Por outro lado, as técnicas não destrutivas (NDT) induzem uma perturbação mínima na estrutura através de danos superficiais e perfeitamente localizados (furos por exemplo) e permitem estabelecer correlações aceitáveis entre os dados recolhidos e as variáveis a analisar (Zombori, 2001). Por esta razão, podem ser aplicados em vários pontos da peça, o que permite uma maior quantidade de dados e consequentemente uma avaliação generalizada do elemento e mais próxima do valor real. Os métodos não destrutivos aplicados *in situ* podem ser divididos em: tradicionais e não-tradicionais (**Figura 3.4**).

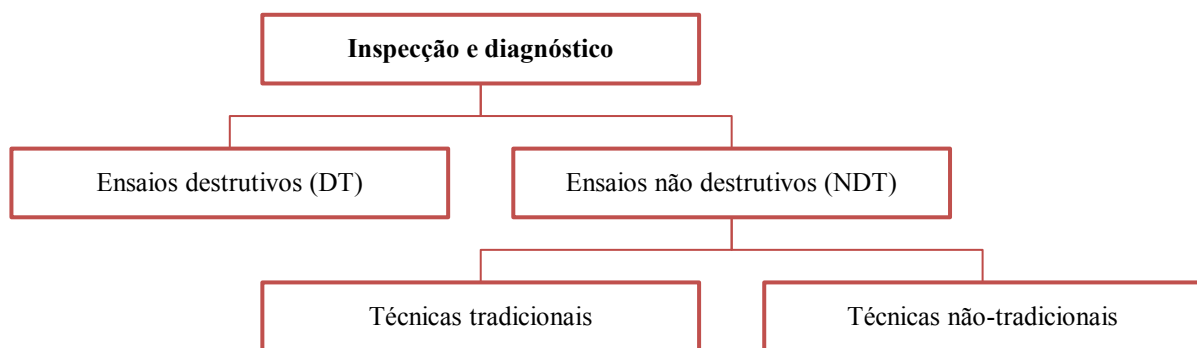


Figura 3.4: Organograma: ensaios de inspeção e diagnóstico

3.2.1. Técnicas tradicionais

Os métodos de inspeção tradicionais estão associados a técnicas que utilizam equipamentos e ferramentas mais antigas. Porém, actualmente ainda são utilizados com sucesso e desempenham um papel fundamental na elaboração do diagnóstico. Seguidamente serão abordados em pormenor os métodos tradicionais de inspeção e diagnóstico comumente utilizados.

▪ Inspeção visual

A inspeção visual é a primeira análise qualitativa da madeira e encontra-se presente ao longo de todo o processo de inspeção. Esta técnica é comum e obrigatória em todos os processos de inspeção, por se tratar de uma fase de extrema importância que permite a avaliação geral do estado de conservação

da construção. As suas vantagens prendem-se com o facto de possibilitar a compreensão do comportamento estrutural, facilitar a percepção dos danos impostos na estrutura pela degradação e avaliar o grau de qualidade dos elementos e técnicas construtivas. A avaliação deve ser iniciada com o reconhecimento detalhado do método construtivo (Palaia, 2007).

Esta metodologia tem por objectivo identificar alguns dos aspectos já referidos na fase preliminar e detalhada, tais como:

- Levantamento das características geométricas (secção, comprimento e afastamento) e numeração/identificação dos elementos estruturais;
- Identificação da espécie de madeira;
- Identificação das patologias e agentes degradadores (fogo, físicos, químicos, mecânicos e biológicos) através da análise do aspecto da peça, extensão e gravidade da degradação;
- Avaliação da qualidade da madeira em função dos defeitos (deformações, presença de nós, inclinação do fio, fendas, descaio, alteração cromática, entre outros);
- Identificação de pontos críticos da estrutura;
- Verificação da presença de agentes externos à construção susceptíveis de provocar degradação (como por exemplo: humidade);
- Verificação, se possível, de alterações ao projecto inicial não registadas;
- Avaliação das ligações e da integridade dos materiais.

Segundo Feio & Lourenço (2005), a identificação da espécie lenhosa pode ser uma tarefa complexa, exigindo conhecimento anatómico da madeira e das técnicas de reconhecimento macroscópico e microscópico. O reconhecimento da espécie implica, muitas vezes, a recolha de amostras e a sua análise pormenorizada em laboratório.

A fase de inspecção visual pode implicar a análise de elementos encobertos por outros, como por exemplo: de topo das vigas de pavimento cobertas pelas tábuas de soalho. Nestas situações é necessário retirar os elementos para a inspecção e observação das peças em estudo. Esta análise implica o acesso directo aos elementos a inspecionar, em caso contrário, devem ser montados andaimes ou outros dispositivos que facilitem a aproximação ao local (Caselli & Mannuci, 2005). No caso da identificação de degradação por agentes xilófagos, o técnico deve analisar e procurar a presença de serrim e orifícios de saída (caruncho), cor e textura (fungos) e galerias, asas e terra (térmitas). Na eventualidade de existência de degradação biológica, a extensão e a profundidade de degradação devem ser verificadas, principalmente em zonas críticas: ligações e apoios (Palaia, 2007). A identificação das características enunciadas é o início do estudo da degradação, que será aprofundado com o auxílio das ferramentas da inspecção visual e dos ensaios.

Segundo Appleton (1994), no estudo de diagnóstico, a inspecção representa o passo inicial e de primordial importância, traduzindo-se em duas atitudes distintas: observar e registar. Assim, ao longo do processo de inspecção devem ser registados todos os dados recolhidos, com recurso a material fotográfico e material de escrita (marcador ou giz) para a marcação ou numeração das peças em análise. A organização dos registos facilita a interpretação dos dados e consequentemente a realização do diagnóstico.

Para a realização da inspecção visual são necessárias algumas ferramentas, que são escolhidas em função das necessidades delimitadas na fase de inspecção preliminar e das características e acessibilidade da zona em estudo. As ferramentas tradicionais estão apresentadas no **Quadro 3.1**.

Quadro 3.1: Ferramentas utilizadas na inspecção visual (Dias, 2008; Martins, 2009; Branco *et al.*, 2012)

Ferramenta	Utilização
Lâmina metálica	Permite estimar a profundidade de degradação biológica da peça, para a quantificação da secção residual. Tal como o formão, a faca permite identificar a presença de material mole e desagregável na superfície das peças
Martelo	Permite identificar zonas de vazio no interior da peça, através do som cavo (oco) provocado pela batida do martelo no elemento
Fita métrica	Permite a medição das dimensões das peças
Régua de nível	Facilita a verificação de empenos
Lanterna	Facilita a visualização das peças em locais de pouca visibilidade (por exemplo: cobertura). Deve-se utilizar fontes de iluminação artificial sempre que a natural não seja suficiente.
Comparador de Fendas	Permite a medição da largura das fendas
Escova ou pincel	Utilização para limpeza das superfícies
Espelho extensível e retrovisor	Possibilita a visualização de zonas de difícil acesso
Binóculos ou lupa	Permite a observação de elementos em locais distanciados ou próximos
Bússola	Facilita a identificação da orientação dos elementos e das fachadas
Formão	Permite verificar o estado de degradação por fungos da superfície da peça de madeira (caso esta esteja degradada a lasca raspada apresenta uma textura solta, curta e enrolada, o que não acontece quando a madeira se encontra sã através de lasca plana e longa)

Na **Figura 3.5**, estão presentes a lâmina metálica e o medidor de fendas.

Por razões de segurança, é necessário a utilização de equipamentos de protecção colectiva e individual, sendo que os primeiros deverão ser utilizados em zonas de risco de acidente (como por exemplo guardas em locais de probabilidade de queda em altura). Tal como os anteriores, o uso de equipamentos de protecção individual também é imprescindível e aconselha-se a utilização de capacete, óculos e luvas (Martins, 2009).

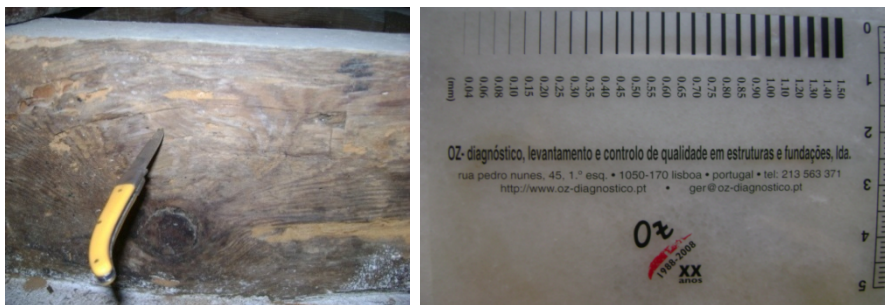


Figura 3.5: Lâmina metálica e comparador de fendas

Em suma, a inspeção visual é um método de elevada importância, mas que deve ser acompanhada da recolha de informação sobre a construção, nomeadamente, peças escritas e desenhadas, e recolha de informação junto dos habitantes locais (Appleton, 1994). Na eventualidade do dono de obra não possuir o projecto da construção, o técnico responsável deve recorrer às entidades licenciadoras na tentativa de obter cópias dos desenhos do projecto de licenciamento (Freitas, 2003).

Esta análise é apenas qualitativa, não engloba a análise quantitativa das propriedades do material e a avaliação limita-se ao conhecimento do aspecto exterior dos elementos (Robert *et al*, 1998). Segundo a opinião de Palaia (2008), a inspeção visual não pode ser substituída por outro método de diagnóstico, considerando-a como o ponto de partida para o processo de inspeção.

▪ Humidímetro

O humidímetro é um equipamento que permite a identificação do teor de água da madeira. A utilização desta técnica possibilita a identificação das zonas com valores de teor de água favoráveis à instalação de agentes xilófagos (Dias, 2008). Existem vários modelos, sendo que os mais comuns são o humidímetro de agulhas e o humidímetro de contacto. O humidímetro de agulhas atua pela cravação de hastes no interior da madeira, enquanto que o humidímetro de contacto possibilita a verificação do teor de água da madeira, como o próprio nome indica, quando este se encontra em contacto com a peça. Na **Figura 3.6**, é apresentada uma imagem do humidímetro de contacto.



Figura 3.6: Humidímetro de contacto

Trata-se de um equipamento leve e fácil de transportar, possibilitando a sua utilização em zonas de menor acessibilidade. A presença de tratamento preservador torna-se uma desvantagem na utilização deste equipamento, isto porque, conduz a erros de leitura que se repercutem em valores de teor de água incorrectos (Machado, 2000; Branco, 2011). Se possível a medição deve ser efectuada em madeira limpa e desprovida de qualquer acabamento ou tratamento. No decorrer da medição do teor em água devem ser realizadas diversas leituras em toda a peça, para que possa obter o teor de água médio do elemento (Henriques *et al*, 2007).

Para a utilização do humidímetro de contacto deve ser respeitada a seguinte metodologia:

- Limpeza da superfície;
- Regulação do equipamento em função da espécie de madeira;
- Colocação do aparelho em contacto com a superfície da peça;
- Pressionar o botão *On*;
- Leitura do valor de teor de água indicado no visor;
- Registo do resultado, da localização da leitura e da designação do elemento.

▪ Técnicas tradicionais complementares

As técnicas tradicionais baseiam-se em métodos em que a facilidade de aplicação e análise dos resultados são factores de extrema relevância, porque tornam o processo de inspecção mais directo e exacto. Além dos referidos anteriormente, existem outros aparelhos, não de menor importância mas de menor aplicação, tais como: recolhas amostras *in situ* e lupa luminosa (Figura 3.7).

A recolha de amostras *in situ* possibilita a realização de ensaios laboratoriais para averiguação de algumas propriedades e características dos elementos, como por exemplo: identificação da espécie lenhosa, massa volúmica, entre outros.

A lupa luminosa facilita a observação em pormenor dos insectos, orifícios e serrim presente na peça de madeira em análise (Branco, 2010).



Figura 3.7: Técnicas tradicionais complementares: lupa luminosa (Branco, 2010)

3.2.2. Técnicas não-tradicionais

Os métodos de inspeção não-tradicionais têm vindo a evoluir ao longo das últimas décadas, aliando a tecnologia à engenharia, entre eles destacam-se: o Resistógrafo, Pilodyn e Ultra-sons. Na utilização de qualquer equipamento é necessário ter em atenção e registar a direcção de realização do ensaio (tangencial, radial ou longitudinal).

Habitualmente, estas técnicas utilizam-se após a fase de inspeção preliminar, ou seja, quando já se encontra determinado o estado de degradação geral e identificados os locais críticos. Assim, o objectivo da aplicação das técnicas incide sobre dois aspectos: identificar defeitos ocultos (danos não possíveis de verificar visualmente porque se encontram em zonas inacessíveis ou no interior das peças) e determinar as características físico-mecânicas dos materiais (Feio & Lourenço, 2005). Em suma, os métodos não-tradicionais complementam e enriquecem a informação recolhida durante a fase de inspeção visual (Palaia, 2008). As técnicas de ensaio não-tradicionais podem ser divididas em dois grupos: métodos globais de ensaio e métodos locais de ensaio (Faggiano *et al*, 2009), tal como se encontra apresentado no organograma da **Figura 3.8**.

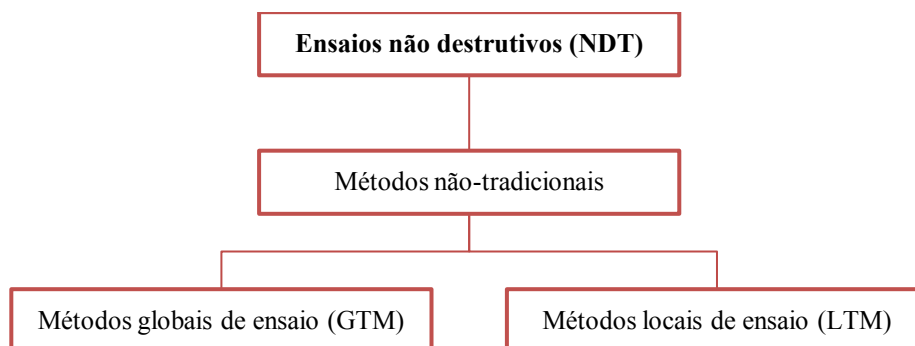


Figura 3.8: Organograma: ensaios não destrutivos (Faggiano *et al*, 2009)

3.2.2.1. Métodos locais de ensaio

Os métodos locais de ensaio caracterizam apenas uma zona localizada muito restrita, sendo o Resistógrafo e o Pilodyn os mais utilizados. Para além dos equipamentos mencionados, existem outras técnicas de inspeção que são utilizadas com menor frequência (Feio & Lourenço, 2005).

- **Resistência à perfuração – Resistógrafo**

Este equipamento avalia a resistência da madeira à perfuração de uma broca de tungsténio com 3 milímetros de diâmetro (Rinn *et al*, 1996). Para eliminar o efeito de atrito lateral, a broca (ponta da

agulha) apresenta o dobro do diâmetro da agulha (Feio & Lourenço, 2005), verificando-se apenas o atrito de ponta (**Figura 3.9**).

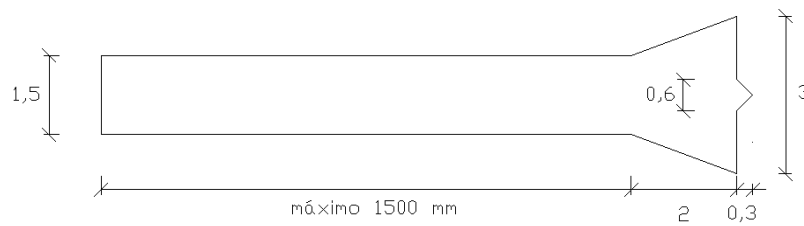


Figura 3.9: Esquema representativo da agulha de perfuração do Resistógrafo, em milímetros (Adaptado de Zombori, 2001)

O Resistógrafo foi desenvolvido na Alemanha no ano de 1985 (Rinn, 1988) e desde essa data que tem sido utilizado tanto em estruturas de madeira em serviço (edifícios, pontes, postes telefônicos e de electricidade, entre outros) como em árvores para a avaliação da presença de degradação biológica (Zombori, 2001).

O funcionamento do aparelho assemelha-se a um berbequim, por apresentar em funcionamento movimentos rotativos. O equipamento funciona devido aos dois motores constituintes que são alimentados por uma bateria recarregável. Os dois motores permitem os movimentos constantes de rotação e avanço da agulha perfuradora (Martins 2009). Cada modelo de Resistógrafo apresenta um conjunto de velocidades de perfuração, que deve ser escolhida e registada antes da realização dos ensaios.

Globalmente, o equipamento é composto por um tubo telescópico (que permite a perfuração da agulha), caixa de armazenamento dos dados (possibilita o registo gráfico dos dados que pode ser impresso no local em formato papel ou armazenado em formato digital), cabos de conexão e carregador de bateria, tal como se apresenta na **Figura 3.10**. A realização deste ensaio permite verificar que nas zonas de maior densidade a resistência oferecida à perfuração é superior quando comparada com zonas de inferior massa volúmica (Robert *et al*, 1998). Assim, o ensaio realiza-se ao longo de toda a secção, permitindo identificar zonas de menor densidade, ou seja, zonas degradadas por agentes biológicos (galerias) e zonas de vazio (por exemplo fendas) (Vásquez, 2009).



Figura 3.10: Resistógrafo: Telescópio (esquerda) e caixa de armazenamento de dados (direita)

O gráfico resultante do ensaio é composto por dois eixos: abcissas (comprimento da peça em milímetros) e ordenadas (resistência oferecida pela madeira à perfuração da agulha em bits), que em conjunto com o resultado do ensaio compõe o perfil resistográfico (Martins, 2009). O perfil traçado corresponde ao registo da potência exigida ao motor durante a furação de toda a secção (Cóias, 2006). O perfil é impresso em tamanho real e permite observar a alternância natural de resistência oferecida pela madeira que corresponde aos vários anéis de crescimento de Primavera e Outono que apresentam densidades distintas (no caso do ensaio ser realizado na direcção radial da peça). Na eventualidade do perfil apresentar uma quebra na resistência, ou seja, uma zona de descontinuidade física, significa que na profundidade correspondente existe degradação da madeira (**Figura 3.11**).

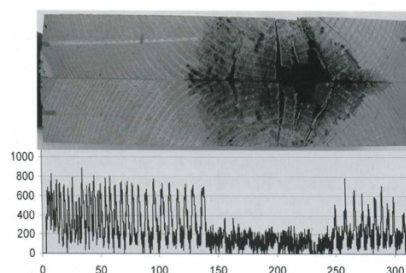


Figura 3.11: Perfil resistográfico (Martins 2009)

Assim, a grande vantagem da realização do ensaio, prende-se com o facto da possibilidade da identificação de degradação e defeitos internos em profundidade e extensão, que não são visíveis por inspeção visual (Palaia, 2008). Em contrapartida, o ensaio não fornece informação inerente à resistência mecânica do material (Henriques *et al*, 2007). Com a identificação das zonas degradadas, é possível estabelecer a secção residual da peça, ou seja, a secção que não se encontra degradada e que ainda contribui para a capacidade resistente da estrutura, bem como, permitir a medição da secção de peças através da análise do perfil resistográfico (Vásquez, 2009).

Trata-se de um equipamento de fácil manuseamento técnico, apesar do ensaio ser realizado apenas na direcção vertical ou horizontal mediante a peça em análise, o que por vezes dificulta o posicionamento do mesmo. As vantagens inerentes à utilização desta técnica baseiam-se na facilidade de armazenamento de dados, leitura e interpretação do perfil. Porém, os equipamentos são difíceis de transportar devido ao seu elevado peso, tornando-se este aspecto um inconveniente.

A agulha do equipamento é passível de ser substituída no caso de se apresentar danificada devido ao desgaste provocado pela perfuração. A duração do ensaio varia em função da secção e da densidade da peça. Apesar de ser um ensaio que se restringe ao plano que está a ser perfurado, possibilita que através da realização de mais ensaios numa mesma peça, se possa estabelecer o grau de conservação e integridade da mesma. Assim, pretende-se concluir a avanço da degradação, que pode ser local e

restringir-se apenas a uma zona ou pode atingir o elemento em toda a sua extensão. A realização do ensaio deve seguir a seguinte metodologia:

- Transporte do equipamento até ao local do ensaio;
- Colocação do equipamento em zona estável e de fácil acesso e ligação do telescópio à caixa de armazenamento de dados;
- Activação da caixa de registo;
- Registo da referência do ensaio presente no visor da caixa e caso necessário, permissão para a impressão do gráfico;
- Posicionamento do telescópio em direcção perpendicular à superfície da madeira e em posição vertical (em peça horizontal) ou horizontal (em peça vertical). Antes da etapa seguinte, deve ser verificado se os três apoios, localizados na ponta do equipamento, se encontram assentes na superfície;
- Accionamento da perfuração. Nesta fase deve ser exercida alguma pressão sobre o telescópio, principalmente em madeiras de maior densidade, ou seja, em que a resistência à perfuração é maior;
- Accionamento do botão de recuo, quando se verifica que a agulha percorreu a toda a secção;
- Retirar o perfil resistográfico ou descarregar em suporte informático;
- Desligar o aparelho.

No perfil resistográfico deve ser registada a designação do elemento e a localização do ensaio. Seguidamente apresentam-se algumas especificações técnicas do equipamento (**Quadro 3.2**).

Quadro 3.2: Especificações técnicas do aparelho (Adaptado de Córias, 2006)

Especificações técnicas	
Tensão de trabalho (Volts)	12
Exactidão das medidas (mm)	1
Diâmetro do orifício resultante da execução do ensaio (mm)	3

Por se tratar de um ensaio não destrutivo, os furos executados nas peças inspeccionadas não são relevantes e não afectam a resistência mecânica da mesma (Zombori, 2001), pelo que podem ser realizados em estruturas de interesse patrimonial.

▪ Dureza superficial – Pilodyn

Este equipamento permite avaliar a dureza superficial da madeira e estimar a secção residual do elemento (Palaia *et al*, 2008). De preferência, o ensaio deve ser realizado em zonas próximas da realização do ensaio com o Resistógrafo, permitindo assim a conjugação e interpretação dos resultados

em paralelo. O ensaio deve ser repetido em quantidade suficiente para que possa ser avaliada a dureza superficial média do elemento (Cruz, 2011).

É um aparelho de pequena dimensão, fácil de transportar e de manusear. O equipamento é composto por: cápsula e pino (ou ponteira). O pino tem um diâmetro de 2,5 milímetros e encontra-se ligado a uma mola localizada no interior da cápsula que se solta mediante um impacto. A libertação da mola permite que a energia potencial elástica se transforme em energia de impacto e facilite a penetração da ponteira na madeira (Feio & Lourenço, 2005). A cápsula contém uma escala em milímetros que permite a leitura da profundidade de perfuração (**Figura 3.12**).



Figura 3.12: Pilodyn

O Pilodyn é acompanhado por uma capa protectora onde o equipamento e os restantes acessórios necessários à sua correcta utilização são armazenados. No **Quadro 3.3**, são apresentadas as especificações técnicas do equipamento.

Quadro 3.3: Especificações técnicas do aparelho (Adaptado de “PILODYN para Avaliação de Madeira *In Situ*”)

Especificações técnicas	
Força de perfuração (Joule – Nm)	6
Profundidade de perfuração (mm)	0 - 40
Diâmetro do orifício resultante da execução do ensaio (mm)	2,5
Dimensões do aparelho (mm) - Diâmetro x Comprimento	50 x 335
Peso do aparelho (Kg)	1,6

A metodologia do ensaio é composta pelas seguintes fases:

- Colocação do pino no interior da cápsula, com auxílio de uma ferramenta destinada para o efeito;
- Posicionamento do aparelho e verificação do correcto apoio dos pernos que permitem a execução do ensaio em direcção perpendicular à superfície;
- Efectuar pressão ou pequeno impacto sobre a zona superior da cápsula para que a mola se solte e o pino perfure a madeira;
- Leitura e registo da profundidade de penetração, localização do ensaio e designação do elemento.

Tal como no ensaio do Resistógrafo, este equipamento deve ser utilizado em posição horizontal ou vertical em função da posição do elemento a ensaiar (**Figura 3.13**).

Ao contrário do Resistógrafo que analisa toda a secção, o Pilodyn restringe-se apenas à zona superficial da peça, impedindo a identificação de anomalias interiores (bolsas, galerias, fendas) (Machado *et al*, 2000). O valor da penetração é inversamente proporcional ao valor da dureza, ou seja, quanto maior for a dureza menor será o valor da penetração e vice-versa (Palaia, 2007).

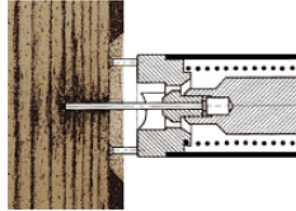


Figura 3.13: Esquema representativo do ensaio Pilodyn (*in* “PILODYN para Avaliação de Madeira *in situ*”)

Os resultados do ensaio do Pilodyn variam em função da espécie de madeira, ou seja, cada espécie apresenta uma densidade distinta o que influencia directamente a sua dureza superficial (Palaia *et al*, 2008). Assim, para uma espécie com densidade superior são esperados valores de dureza superiores, sendo que o contrário também acontece. Em suma, a análise dos resultados deve ser realizada em função da conjugação e conciliação das duas propriedades: espécie e dureza (resultado do ensaio) (Martins, 2009). A superfície da madeira pode apresentar dureza superficial inferior ao esperado para a espécie em causa, no caso de se encontrar degradada por agentes xilófagos: caruncho, fungos ou térmitas. É de salientar que o teor em água influencia o resultado obtido no ensaio e por esse motivo esta propriedade também deve ser registada para que a análise seja rigorosa (Dias, 2008 citando Bonamini, 2001). Pode-se concluir que a profundidade de penetração superficial depende da densidade da madeira e do estado de degradação da superfície.

Tal como já foi referido, o Pilodyn e o Resistógrafo são aparelhos que permitem a realização de ensaios não destrutivos a estruturas de madeira, por essa razão não danificam a resistência mecânica da peça. Os orifícios resultantes da execução dos ensaios podem facilitar o acesso e a entrada de agentes xilófagos, pelo que deve ser aplicado um tratamento preservador ou injeção dos furos com cola epoxídica (Robert *et al*, 1998).

▪ Técnicas não-tradicionais complementares

Para além dos métodos apresentados, é importante salientar a existência de técnicas locais complementares de inspecção, tais como: a boroscopia, a dendrocronologia e o detector acústico de insectos xilófagos.

A boroscopia é uma técnica baseada na utilização de um instrumento óptico, o boroscópio, que possibilita a visualização do interior dos elementos com o objectivo de detectar degradação e/ou anomalias de forma reduzidamente intrusiva. A técnica consiste na execução de pontos de observação através da realização de pequenos furos (com cerca de 10 milímetros de diâmetro), no qual é introduzido o aparelho e possibilita o registo vídeo-fotográfico (**Figura 3.14**). O boroscópio também pode ser introduzido em fendas, quando estas apresentam abertura suficiente (*in* Observação boroscópica de cavidade e fendas).



Figura 3.14: Observação do interior de um pavimento com o boroscópio (*in* Observação boroscópica de cavidade e fendas)

A dendrocronologia, ou datação da madeira, é uma ciência que analisa e interpreta o crescimento anual dos anéis constituintes das árvores (Esteves, 2003). Para a utilização desta técnica, é necessário que os topos das peças estejam acessíveis para que os anéis de crescimento possam ser analisados, tendo em conta, as especificidades de cada espécie de madeira (Pereira, 2009).

O detector acústico de insectos xilófagos, como o próprio nome indica, é uma técnica que detecta a presença de insectos no interior da madeira através da captação e amplificação das ondas sonoras emitidas por estes durante a sua actividade. Em função das características do sinal é possível quantificar a intensidade do ataque. A grande vantagem desta técnica baseia-se na identificação de insectos xilófagos presentes no interior da peça de madeira em que a sua presença não poderia ser verificada apenas por inspecção visual (Júnior, 2006).

3.2.2.2. Métodos globais de ensaio

Como o próprio nome indica, os métodos globais de ensaio englobam técnicas cujo resultado é mais generalizado e abrange uma área superior, nomeadamente o ensaio com recurso a Ultra-sons (Feio & Lourenço, 2005).

▪ Propagação de ondas – Ultra-sons

A realização deste ensaio permite a avaliação das propriedades mecânicas da madeira através da conjugação da velocidade de propagação de ondas ao longo da peça com as propriedades elásticas da

madeira, o que possibilita a quantificação do módulo de elasticidade dinâmico (Machado *et al*, 2000; Palaia, 2007).

A velocidade de propagação das ondas depende da rigidez e densidade do material, que pode ser correlacionada com o tempo de propagação e propriedades mecânicas e resistentes locais (Sandoz, 1989; Feio & Lourenço, 2005).

Este ensaio baseia-se na relação física entre a velocidade de propagação de ondas e o módulo de elasticidade estático e dinâmico (valor obtido com o ensaio). O módulo de elasticidade dinâmico é obtido através da velocidade de propagação das ondas e massa volúmica da madeira, sendo calculado de acordo com a **Equação 3.1** (Zombori, 2001):

$$E_{din} = v^2 \times \rho \quad (3.1)$$

Em que:

E_{din} – Módulo de elasticidade dinâmico

v – Velocidade de propagação das ondas

ρ – Massa volúmica

Assim, para o cálculo do módulo de elasticidade estático recorre-se à **Equação 3.2**:

$$E_{est} = K \times E_{din} \quad (3.2)$$

Em que:

E_{est} – Módulo de elasticidade estático

K – Coeficiente de proporcionalidade ou módulo de elasticidade

O coeficiente de proporcionalidade depende da espécie de madeira em estudo, motivo pelo qual esta deve ser correctamente identificada na etapa de inspecção visual. Este valor encontra-se definido em regulamentação e resulta de um procedimento laboratorial de caracterização das propriedades físicas e mecânicas realizado para cada espécie de madeira (Júnior, 2006).

A obtenção do módulo de elasticidade estático permite o estabelecimento de conclusões sobre a rigidez do elemento ensaiado. A presença de discontinuidades internas ou defeitos no material, nomeadamente: nós, fendas, inclinação do fio, degradação biológica (galerias e podridão), provoca a alteração do percurso das ondas ultra-sónicas e conseqüentemente o aumento do tempo de propagação (Machado, 2003). Quanto maior o tempo de propagação das ondas, menor é a resistência dos elementos. Apesar da detecção de períodos de propagação elevados, o que corresponde à presença de

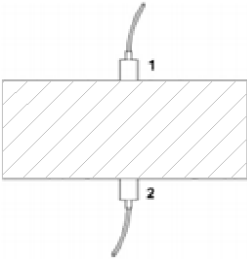
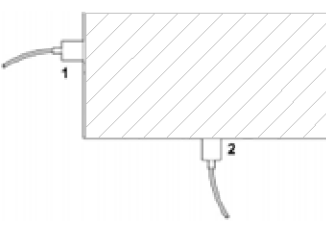

defeitos, esta técnica não permite a localização e identificação dos mesmos (Machado *et al*, 2000; Zombori, 2001).

O ensaio deve ser realizado nos topos das peças, para que as ondas se propaguem ao longo do eixo longitudinal das fibras. Esta particularidade *in situ*, torna-se uma limitação porque raramente os topos se encontram acessíveis, o que não acontece em ensaios de propagação de ondas realizados em laboratório (Robert *et al*, 1998). As vigas de pavimento são um exemplo de inacessibilidade das faces das peças, cujos topos não se encontram acessíveis para a inspeção visual e realização de ensaios.

Porém, na eventualidade de não ser possível a realização na direcção longitudinal, o ensaio pode ser realizado nas direcções radial e tangencial, tendo em conta que a velocidade de propagação de onda é diferente em função da direcção em que o ensaio é realizado, manifestando-se superior no sentido longitudinal (Machado *et al*, 2009).

A metodologia de utilização pode ser classificada como directa, semi-directa ou indirecta e encontra-se pormenorizada no **Quadro 3.4**.

Quadro 3.4: Metodologias de medição

Medição directa	Medição semi-directa	Medição indirecta
Realizada em faces opostas do elemento de madeira. É o tipo de medição mais aconselhável	Realizada em faces não opostas, aplicável quando estas não se encontram acessíveis	
	Os transdutores são posicionados em faces perpendiculares. Fornece resultados razoáveis se o ângulo e distância entre as sondas forem reduzidos	Os transdutores são posicionados na mesma superfície. É a metodologia que fornece resultados mais insatisfatórios
		

Segundo Júnior (2006), existem ainda outras propriedades que interferem na propagação de ondas, nomeadamente: teor em água, temperatura e alternância entre anéis de Outono e Primavera. O aumento da temperatura e teor de água provocam a diminuição do tempo de propagação das ondas. Estes factores condicionam a velocidade das ondas ultra-sónicas mas globalmente não apresentam relevância suficiente na avaliação do resultado final do ensaio (Arriaga *et al*, 2002).

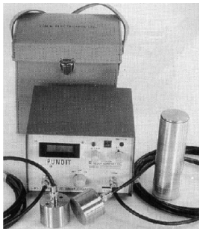
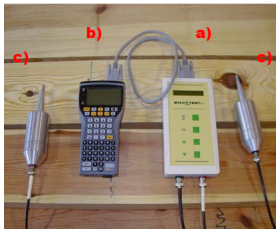
Para melhorar a análise do estado de conservação da madeira, o resultado do ensaio executado *in situ* deve ser complementado com outros ensaios e eventualmente comparado com o resultado obtido em laboratório realizado a uma peça sã da mesma espécie e com características higrotérmicas semelhantes (Machado, 2003).

Para a análise dos resultados é necessário ter conhecimento da espécie de madeira a ensaiar, da identificação da peça, da distância entre sondas, metodologia de medição, teor em água e tipo de secção (Júnior, 2006). Estes requisitos devem ser registados antes da execução do ensaio ainda na fase de inspecção visual da estrutura.

Este método apresenta algumas vantagens, entre as quais: rapidez de execução, fácil transporte, simplicidade de manuseamento e precisão. No entanto, o ensaio deve ser realizado por um técnico experiente na utilização do equipamento (Feio & Lourenço, 2005).

Devido à heterogeneidade e anisotropia da madeira, as frequências utilizadas nos ensaios são relativamente baixas entre 20 e 500 kHz (Zombori, 2001). Os equipamentos de ultra-sons mais utilizados são: Pundit (Portable Ultrasonic Non destructive Digital Indicating Tester) e Sylvarest (Quadro 3.5).

Quadro 3.5: Equipamentos de ultra-sons a utilizar em estruturas de madeira

	Pundit	Sylvatest
Composição	<ul style="list-style-type: none"> – Dois transdutores cilíndricos (emissor e receptor), que serão colocadas em contacto com a superfície de madeira através de um acoplante (água, gel ou líquido lubrificante), para melhorar o contacto e a ligação à peça – Dispositivo de geração de impulsos, amplificador, unidade de medição de tempo e mostrador digital – Cabos de conexão 	<ul style="list-style-type: none"> – Sylvatest Duo e Sylvion (Psion): dispositivo de geração de impulsos, amplificador, unidade de medição de tempo e mostrador digital – Dois transdutores cónicos (emissor e receptor) – Cabos de conexão
Frequência de utilização (KHz)	37, 54 e 150	20
Imagem do equipamento		

São ambos equipamentos portáteis e passíveis de serem utilizados em estruturas de madeira, sendo que ensaios com o Pundit também podem ser executados em betão. A metodologia de execução e a base científica em que se baseia o funcionamento da técnica dos ultra-sons é partilhada pelos diversos modelos existentes do aparelho, apesar das características específicas que os diferenciam. Antes da execução da técnica, é necessário executar a calibração do aparelho. De seguida, o gerador é activado e envia os impulsos eléctricos para o transdutor emissor por intermédio dos cabos de conexão. Este ao receber os impulsos, transforma-os em ondas de impacto que percorrem todo o elemento de madeira. O transdutor receptor recebe as ondas e ao contrário do emissor, transforma-as em impulsos eléctricos que são transmitidos ao amplificador (Nepomuceno, 1999). Devido às baixas frequências utilizadas, é necessário um amplificador que amplie o sinal e permita que a unidade de medição de tempo quantifique o tempo decorrido entre os dois transdutores. Por fim, o mostrador digital permite a visualização do tempo percorrido pelo impulso. O funcionamento do ensaio está esquematizado na **Figura 3.15**.

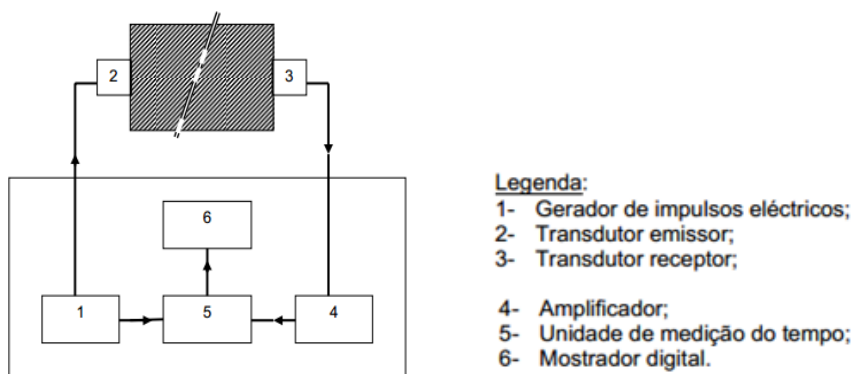


Figura 3.15: Metodologia de execução da técnica de ultra-sons (Nepomuceno, 1999)

▪ Outras técnicas não-tradicionais complementares

Existem ainda outros métodos que facilitam o processo de inspeção e diagnóstico, nomeadamente: ensaio de vibrações induzidas, termografia, georradar e raios-X.

O ensaio de vibrações induzidas permite a quantificação de propriedades mecânicas das peças (módulo de elasticidade, massa volúmica, entre outros), através da medição da velocidade de ondas de choque provocadas por um martelo de impacto (Pereira, 2009). O aparelho mais utilizado para a realização destes ensaios em estruturas de madeira, designa-se por Metriguard (**Figura 3.16**) e é composto por: unidade central, martelo de impacto e dois acelerómetros. É um equipamento leve e fácil de transportar e de manejar. Este ensaio apresenta um funcionamento semelhante à técnica de ultra-sons e também permite a identificação de defeitos e zonas de degradação (Júnior, 2006).

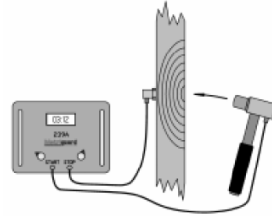


Figura 3.16: Esquema de funcionamento do aparelho METRIGUARD (Bastos, 2011)

Nas estruturas de madeira, a termografia é muito utilizada para a detecção de elementos no interior dos paramentos, como por exemplo: peças de madeira em paredes de frontal. Apresenta a grande vantagem de observação da constituição da parede sem a danificação da mesma. Para a realização do ensaio são necessários dois equipamentos: fonte emissora de calor e câmara termográfica (Mesquita, 2011). Como cada material apresenta diferente condutibilidade térmica, quando sujeito a uma fonte de calor, as ondas são reflectidas com intensidades distintas, tal como se pode observar na **Figura 3.17**.

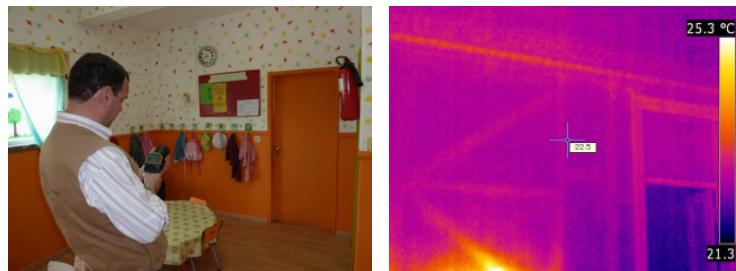


Figura 3.17: Execução do ensaio de termografia e respectivo termograma (Mesquita, 2011)

O Georradar é uma técnica geofísica que consiste na emissão de ondas electromagnéticas. A velocidade das ondas é função da heterogeneidade do material, bem como, das anomalias e das condições higrotérmicas existentes. O ensaio permite detectar com elevado grau de precisão a presença de fendas, teores de água elevados e existência de diferentes materiais. O equipamento é constituído pelos seguintes elementos: unidade central (**Figura 3.18**), antenas e outros acessórios (impressora, entre outros) (Bastos, 2011).



Figura 3.18: Georradar: unidade central (Bastos, 2011)

A utilização da técnica com recurso a Raios-X revelou-se um excelente método de avaliação qualitativa em termos de precisão e qualidade de informação. Permite a identificação e o registo

radiográfico de zonas de menor densidade, ou seja, degradação, vazios e defeitos presentes na peça (Pereira, 2009). Apresenta a grande desvantagem de implicar perigo para a saúde dos técnicos, apesar da tecnologia evoluir no sentido de criar equipamentos cada vez mais seguros (Bastos, 2011). Esta técnica tem vindo a ser substituída pelo ensaio com raios gama, por apresentar menor perigo e proporcionar imagens em tempo real.

3.3. Classificação visual segundo a norma NP 4305:1995

3.3.1. Objectivo

A norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual) aplica-se a madeira de Pinho bravo (*Pinus Pinaster Ait*) produzida em Portugal para estruturas e tem por objectivo o estabelecimento da resistência mecânica através da apreciação do aspecto visual, incluindo características intrínsecas (massa volúmica e presença de medula), defeitos (nós, inclinação do fio, bolsas de resina e casca inclusa), corte (descaio) e alterações do material (degradação biológica, fendas e empenos) (Machado & Cruz, 1993; LNEC, 1997). A madeira de Pinho bravo é a única espécie em Portugal sujeita a normalização e definição de classes de qualidade. No **Capítulo 7**, apresenta-se a aplicação da presente norma a um caso de estudo.

A classificação da resistência das peças é utilizada em madeira nova, com o objectivo de certificação da qualidade do produto, assegurando as propriedades resistentes do material. No caso de madeira antiga aplicada *in situ*, a classificação visual é uma ferramenta muito útil na avaliação das peças de madeira sendo que deve ser complementada com outros tipos de inspeção, tais como: ensaios não destrutivos (tradicional e não-tradicional) e laboratoriais, com o objectivo de aferir com maior precisão algumas propriedades do material em estudo (Ross *et al*, 2000). Por esta via, a análise torna-se mais completa e permite o estabelecimento mais rigoroso do estado de conservação do material.

Esta norma foi elaborada tendo em conta os requisitos mínimos estabelecidos pela norma Europeia EN 518:1995 mais recentemente substituída pela EN 14081-1:2005.

A classificação visual permite a atribuição de classes de qualidade à madeira e consequente identificação da classe de resistência e respectivas propriedades mecânicas (valores característicos de módulo de elasticidade e de distorção, massa volúmica, resistência à flexão e compressão paralela e perpendicular às fibras, entre outros). As classes de qualidade estabelecidas pela norma portuguesa são as seguintes: EE (madeira especial para estruturas) e E (madeira para estruturas). Os requisitos para o estabelecimento das classes serão abordados no capítulo 3.1.3.3. (NP 4305:1995). A abordagem pormenorizada dos defeitos é realizada nos sub-capítulos seguintes segundo a referida norma.

3.3.1.1. Critérios de medição de defeitos

Por definição, um defeito que afecta a classe de qualidade e logicamente diminui o valor comercial da peça de madeira pode ser resultado de três factores: imperfeição da estrutura do lenho, degradação biológica ou anomalias na serragem e corte das peças (Lopes, 2007). A presença de defeitos afecta negativamente a resistência mecânica das peças. Carvalho (1996), estudou a relação da existência de defeitos com a tensão de rotura das peças de madeira. Pela **Figura 3.19**, verifica-se que com o aumento de defeitos a tensão de rotura diminui, o que corresponde a uma resistência mecânica inferior.

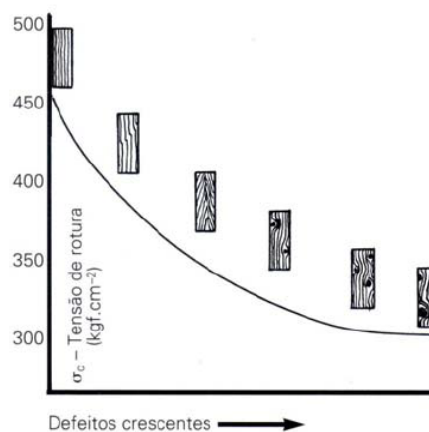


Figura 3.19: Variação da resistência à compressão axial com a incidência de defeitos para madeira de Pinho Bravo (Carvalho, 1996)

Apresentam-se de seguida os defeitos que estão na base do método de classificação visual preconizado: nós, inclinação do fio, taxa de crescimento, fendas, descaio, empenos, bolsas de resina e casca inclusa, medula).

3.3.1.1.1. Nós

Os nós constituem a porção da base de um ramo inserida no tronco da árvore. Este defeito altera significativamente a resistência mecânica da madeira, porque as suas fibras estão orientadas na direcção perpendicular às fibras do elemento (LNEC, 1997).

Segundo Mateus (1978), os nós são os defeitos que apresentam maior influência sobre a resistência mecânica em peças de madeira de pinho, principalmente no caso de nós de grandes dimensões ou localizados em secções sujeitas a tensões elevadas.

A avaliação da influência dos nós sobre o comportamento da peça é avaliada através da quantificação da área da secção transversal que ocupam: KAR (Knot Area Ratio). Em termos de medição distinguem-se dois tipos de área: marginal e total, cujas definições são apresentadas no capítulo

3.3.1.2. A avaliação dos nós baseia-se no cálculo do KAR total e maior KAR marginal, seguindo o exemplo presente na **Figura 3.20**.

A avaliação do KAR total é realizada através da projecção dos nós na secção transversal, quantificando a área ocupada pelos mesmos. No caso do KAR marginal, é quantificada a área ocupada pelos nós na zona próxima dos cantos em cerca de um quarto da altura da peça.

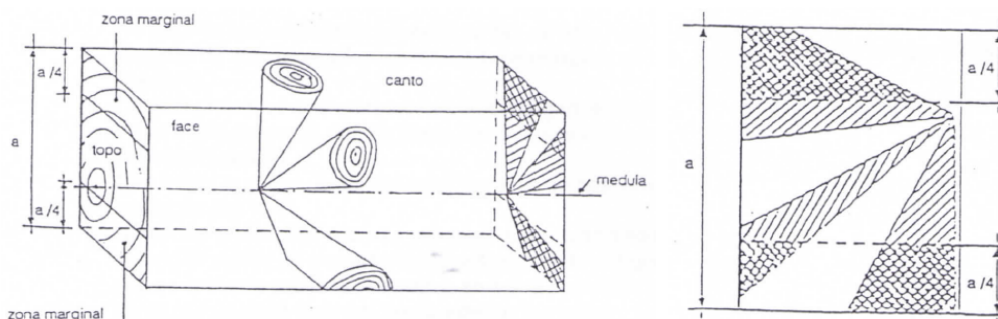
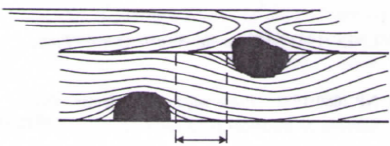
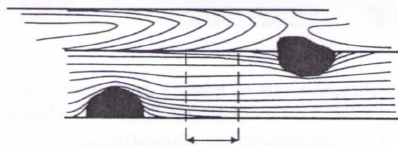


Figura 3.20: Método de medição dos nós: KAR marginal e total (NP 4305:1995)

Para o cálculo da área ocupada por cada nó, é necessário idealizar que cada um se desenvolve em forma de cone até à medula. No caso da medula não se encontrar presente na peça, o vértice do cone localiza-se no exterior da secção transversal (NP 4305:1995). Os nós devem ser avaliados individualmente à excepção dos nós agrupados (**Quadro 3.6**).

Quadro 3.6: Agrupamento de nós (Ficha M2:LNEC, 1997)

Nós agrupados	Nós isolados
	
<p>Inflexão das fibras da peça em torno do grupo de nós (Não se verifica a recuperação do fio)</p>	<p>O desenvolvimento das fibras não é influenciado pela presença dos nós (Recuperação do fio)</p>

3.3.1.1.2. Inclinação do fio

O fio da madeira corresponde à orientação e disposição geral das fibras em relação ao eixo longitudinal da peça. A medição do fio deve ser realizada em zona afastada dos defeitos locais, para que a influência destes não afecte o resultado final deste parâmetro. Na eventualidade de numa mesma peça existir duas inclinações diferentes do fio, ambas devem ser contabilizadas, mas em termos de classificação deve ser considerada a mais gravosa, ou seja de maior inclinação (NP 4305:1995).

De acordo com Cruz & Nunes (2008), este defeito pode ter origem no corte inadequado da peça (serragem oblíqua) ou defeito interno da árvore (fio torcido ou curvatura do tronco). A inclinação

acentuada do fio provoca a alteração do comportamento da peça quando solicitada mecanicamente (a inclinação do fio provoca o desvio da acção imposta), bem como o aparecimento de outros defeitos (fendas ou empenos) devido às elevadas tensões internas originadas pela retração de secagem, razão pela qual este parâmetro deve ser analisado e limitado (Carvalho, 1996). A medição pode ser realizada por inspecção visual ou recorrendo a uma ferramenta denominada por riscador. O fio pode ser calculado de acordo com a seguinte expressão (**Figura 3.21**):

$$Fio = \frac{\text{Comprimento BC}}{\text{Comprimento AC}} \quad (3.3)$$



Figura 3.21: Medição do fio (Ficha M2:LNEC, 1997)

Na **Figura 3.22**, pode-se observar a influência da inclinação do fio sobre as propriedades de tensão de rotura e módulo de elasticidade (em compressão) de madeiras de Pinho Bravo.

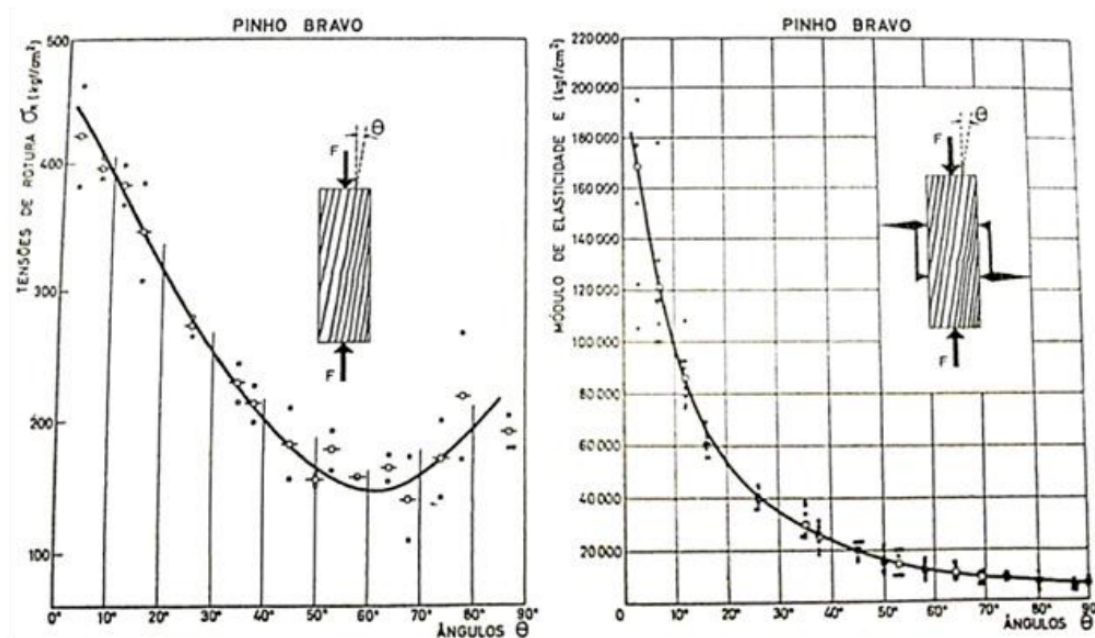


Figura 3.22: Variação da tensão de rotura e módulo de elasticidade em função do ângulo de inclinação do fio (Mateus, 1961)

3.3.1.1.3. Taxa de crescimento

A taxa de crescimento corresponde à largura média dos anéis de crescimento, medida sobre a linha radial máxima que se possa traçar num dos topos da peça (**Figura 3.23**). Este parâmetro possibilita o cálculo da massa volúmica da peça de madeira em análise (NP 4305:1995).

Assim, este parâmetro pode ser calculado através da **Equação 3.3**:

$$\text{Taxa de crescimento} = \frac{\text{Comprimento } R \text{ (mm)}}{N^{\circ} \text{ de anéis de crescimento anual na linha de comprimento } R} \quad (3.4)$$

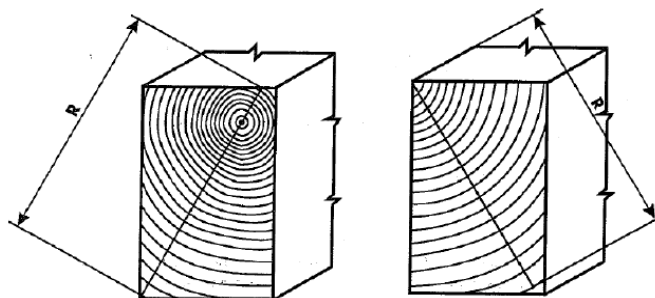


Figura 3.23: Medição da taxa de crescimento (NP 4305:1995)

3.3.1.1.4. Fendas

As fendas introduzem discontinuidades no material lenhoso e devem-se essencialmente a elevados esforços instalados, secagem inadequada ou podem ainda estar associadas a outros defeitos (NP 4305:1995). As fendas de secagem desenvolvem-se segundo a disposição das fibras (fio).

Segundo Franco (2008), as fendas resultam das tensões derivadas da contracção diferencial da madeira entre as zonas periféricas e interiores do lenho, o que induz esforços de tracção transversal que tendem a romper a madeira segundo planos radiais. Na **Figura 3.24** pode-se observar algumas das consequências associadas à inadequada secagem das peças de madeira.

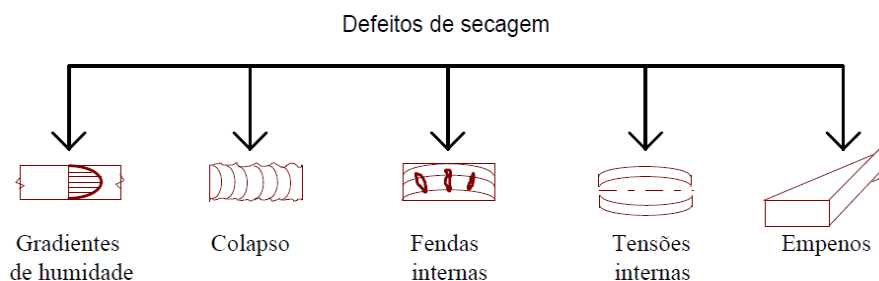


Figura 3.24: Defeitos de secagem (Santos, 2011)

A existência de fendas pode influenciar negativamente o comportamento da estrutura, provocando a diminuição da secção da peça e consequentemente a diminuição da sua capacidade resistente (Mateus, 1978). Este facto agrava-se se a fenda se localizar em zona de ligação a outro elemento ou no caso da peça estar sujeita a esforços de corte.

O comprimento da fenda (L_f) é medido pela distância entre duas linhas verticais que a delimitam, sendo que a leitura deve ser efectuada perpendicularmente à direcção das fibras e paralela aos topos (**Figura 3.25**) (NP 4305:1995). As fendas podem dividir-se em repassadas e não repassadas, sendo que as primeiras caracterizam-se como fendas que atravessam a totalidade da secção, ou seja, ocorrendo em simultâneo em duas faces opostas (LNEC, 1997). A limitação das fendas deve ser ponderada em peças aplicadas *in situ*, isto porque as regras impostas pela norma são direccionadas para madeira nova. Sendo assim, a análise das fendas deve ser criteriosa tendo em conta a dimensão e localização da fenda, do tipo de peça e dos esforços instalados (Cruz, 2011).

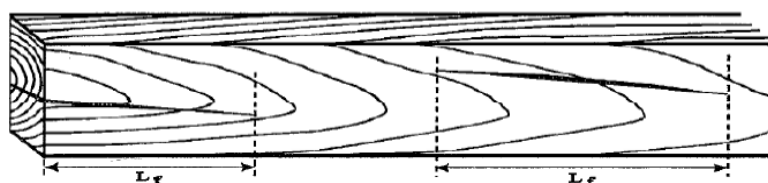


Figura 3.25: Medição de fendas (Ficha M2:LNEC, 1997)

3.3.1.1.5. Descaio

O descaio representa o remanescente da superfície do toro na peça de madeira (NP 4305:1995), podendo ocorrer na face ou no canto, tal como se observa na **Figura 3.26**.

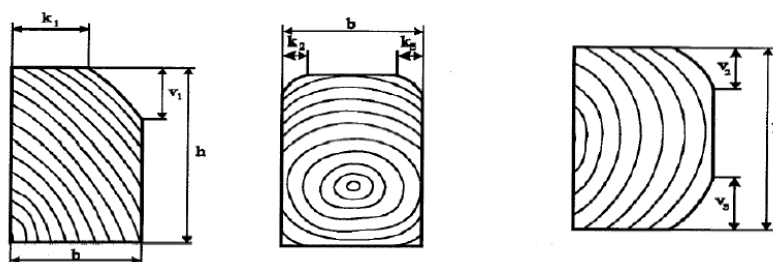


Figura 3.26: Medição do descaio (Ficha M2:LNEC, 1997)

A falta de madeira numa ou mais arestas, local ou ao longo da viga, implica a diminuição da secção útil e dificuldades de fixação, apoio ou colagem (Cruz & Nunes, 2008; Santos, 2009). Em termos de resistência mecânica, a sua perda em função da diminuição de secção transversal é geralmente desprezável (Rosa, 2008; Cruz, 2011). A importância do descaio pode ser avaliada através da aplicação das expressões presentes no **Quadro 3.7**.

Quadro 3.7: Expressões de cálculo da importância do descaio (NP 4305:1995)

Descaio de face		Descaio de canto	
$D_{face} = \frac{V_1}{h}$	$D_{face} = \frac{V_2+V_3}{h}$	$D_{canto} = \frac{b - K_1}{h}$	$D_{canto} = \frac{K_2+K_3}{h}$

3.3.1.1.6. Empenos

Designa-se como empeno a deformação de uma peça de madeira relativamente à sua forma original. Este defeito ocorre principalmente devido à variação do seu teor em água, factor que se encontra associado à natureza anisotrópica do material natural (NP 4305:1995). Existem outros factores responsáveis pela ocorrência de empenos, destacando-se: o fio irregular, técnicas inadequadas de serragem e erros no armazenamento do material (Santos, 2009). Segundo a norma em causa, os empenos podem dividir-se em quatro classes (**Figura 3.27**): arco de face (X), arco de canto (Y), em Hélice (Z) e em meia cana (X_i).

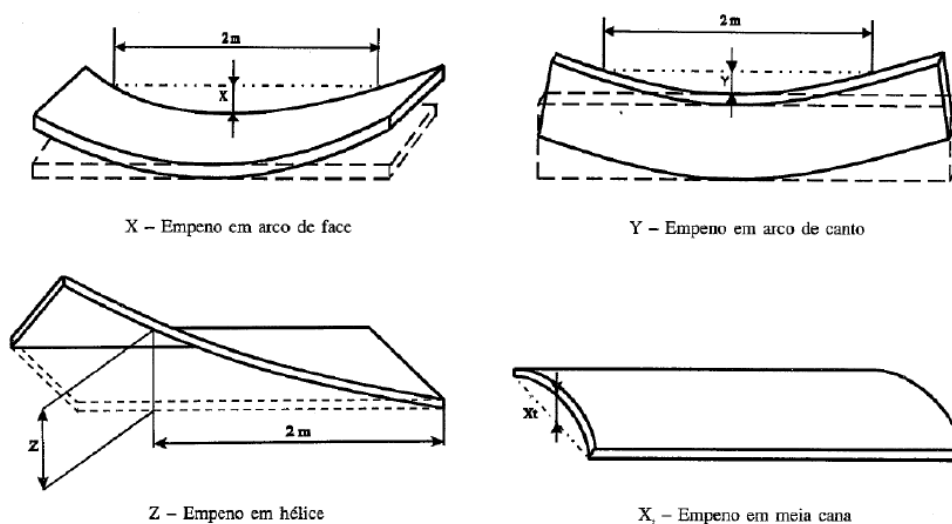


Figura 3.27: Medição de empenos (NP 4305:1995)

Esta característica deve ser limitada por razões de ordem funcional e de aplicação do material. Em termos de medição, os empenos devem ser medidos sobre um comprimento de dois metros, à excepção do empeno em meia cana que deve ser avaliado sobre a largura da peça. Segundo Cruz (2011), o descaio e os empenos devem ser limitados devido às dificuldades que provocam em termos de ligações entre elementos e não por reduzirem significativamente a capacidade resistente da peça. Por esta razão, estes critérios são correntemente excluídos da avaliação visual de madeira aplicada *in situ*.

3.3.1.1.7. Bolsas de resina e casca inclusa

As bolsas de resina, como o próprio nome indica, são cavidades que alojam a resina no caso de árvores de natureza resinosa. No caso das folhosas, as cavidades armazenam goma (Bastos, 2011). As bolsas influenciam o elemento de madeira alterando as suas propriedades mecânicas e podem ter ou não casca inclusa, factor muitas vezes responsável pelo apodrecimento da madeira (Franco, 2008). A gravidade deste defeito varia em função da quantidade existente em cada peça. Na maioria dos casos a

sua presença é diminuta e conseqüentemente o efeito sobre a resistência do material é pouco significativo (Mateus, 1961).

3.3.1.1.8. Medula

A medula é o núcleo central do tronco e encontra-se circundada pelos anéis de crescimento da árvore. A medula é composta por lenho juvenil, caracterizado pela sua menor resistência quando comparado com o lenho adulto. Por esta razão, a presença de medula não é admitida em madeira de classe superior: EE (especial para estruturas), mesmo que o elemento não padeça de outro tipo de defeitos (NP 4305:1995).

3.3.1.2. Observações e definições

Para além dos defeitos anteriormente apresentados, a presença de degradação biológica e danos físicos influenciam a abordagem da classificação visual. No caso da degradação biológica, não são aceites peças atacadas por insectos e fungos de podridão. O ataque de fungos cromogéneos pode ser aceite desde que a extensão do ataque não comprometa as condições de utilização da peça. As peças que se encontrem danificadas também devem ser excluídas da avaliação (NP 4305:1995). Seguidamente são transcritas as definições mais relevantes presentes na norma que facilitam e possibilitam a compreensão do descrito na mesma.

- Conversão: qualquer operação ou conjunto de operações de transformação da árvore abatida em peças aptas a ser aplicadas imediatamente ou susceptíveis de sofrer posterior laboração;
- Topo: superfície plana ou quase plana, sensivelmente normal ao eixo maior da peça (**Figura 3.28**);
- Face: superfície plana ou quase plana, sensivelmente paralela ao eixo maior de uma peça e resultante da operação de conversão. No caso de peças limitadas por duas ou mais superfícies nestas condições, mas de desigual largura, dá-se o nome de face à de maior largura e à que lhe é paralela;
- Canto: superfície plana ou quase plana de largura inferior à das faces, sensivelmente paralela ao eixo maior de uma peça e resultante de uma operação de conversão;
- Zonas marginais: zonas vizinhas dos cantos de uma secção transversal, cada uma das quais ocupa um quarto da superfície transversal total da peça. Nas peças de secção quadrada as zonas marginais são escolhidas de forma a conduzir ao maior valor de KAR marginal;
- Índice de nós na secção total (KAR total): proporção da secção transversal de uma peça ocupada pela projecção de um nó ou um grupo de nós;

- Índice de nós na secção marginal (KAR marginal): proporção da secção marginal de uma peça ocupada pela projecção de um nó ou um grupo de nós.

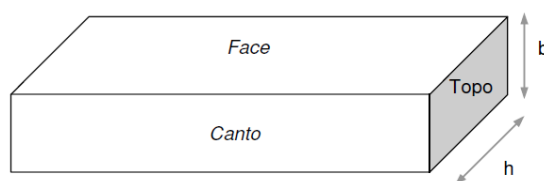


Figura 3.28: Esquema de um elemento de madeira: face, canto e topo (Franco, 2008)

3.3.1.3. Classes de qualidade

No **Quadro 3.8**, apresentam-se os requisitos exigidos para as classes de qualidade E e EE. Estes parâmetros devem ser avaliados após a apreciação visual e quantificação dos defeitos das peças em avaliação.

Quadro 3.8: Classes de qualidade estabelecidas para a madeira de Pinheiro bravo (NP 4305:1995)

Características e defeitos da madeira		Classes de Qualidade	
		Classe EE	Classe E
Nós	KAR marginal	$\leq 1/5$	$\leq 1/2$
	KAR total	$\leq 1/5$	$> 1/2$ $\leq 1/3$
Fio		$\leq 1/10$	$\leq 1/6$
Taxa de crescimento		≤ 6 mm	≤ 10 mm
Fendas	não repassadas	Fendas superficiais com $L_f \leq 300$ mm podem ser ignoradas	
		$L_f \leq 1/4 l$ e $L_f \leq 600$ mm	$L_f \leq 1/4 l$ e $L_f \leq 900$ mm
	repassadas	Não mais do que uma fenda com o comprimento máximo, por cada metro	
		Permitidas só nos topos: $L_f \leq 600$ mm e $L_f \leq 1,0 \times h$	Permitidas só nos topos: $L_f \leq 1,5 \times h$
Descaio		$\leq 1/4 b$; $\leq 1/4 h$ no comprimento total	$\leq 1/3 b$; $\leq 1/3 h$ no comprimento total
		$\leq 1/3 b$; $\leq 1/3 h$ ao longo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)	$\leq 1/2 b$; $\leq 1/2 h$ ao longo de 300 mm (se cada topo tiver 3 ou 4 arestas vivas)
Empenos	em arco de face (em 2 m)	Se $b = 35$ mm $\rightarrow X \leq 30$ mm. Se $b \geq 75$ mm $\rightarrow X \leq 10$ mm (interpolares para valores de espessura intermédios)	
	em arco de canto (em 2 m)	Se $h = 60$ mm $\rightarrow Y \leq 10$ mm. Se $h \geq 250$ mm $\rightarrow Y \leq 5$ mm (interpolares para valores de largura intermédios)	
	em hélice (em 2 m)	$Z \leq 1,5$ mm por cada 25 mm de largura da peça	
	em meia cana	$X_1 \leq 1$ 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 $\leq 1/2$ da largura da peça. Se tal não se verificar aplicam-se os limites das fendas	
Medula		Não admitida	Admitida

Na **Figura 3.29**, apresentam-se dois exemplos em que é notável a diferença entre as duas classes de qualidade de madeira estabelecidas na norma de classificação visual.

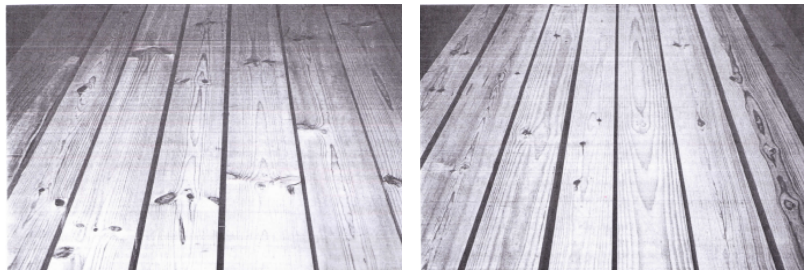


Figura 3.29: Madeira classificada como E e EE, respectivamente (Ficha M2:LNEC, 1997)

Em função da classe atribuída pelo quadro apresentado anteriormente, os valores característicos das propriedades mecânicas da madeira de Pinheiro bravo podem ser consultados no **Quadro 3.9**.

Quadro 3.9: Valores característicos das propriedades mecânicas da madeira de Pinho bravo (Ficha M2:LNEC, 1997)

Propriedades mecânicas		Classe de Qualidade	
		EE	E
(Valores característicos)			
Flexão estática (N/mm ²)	$f_{m,k}$	35	18
Tração paralela às fibras (N/mm ²)	$f_{t,0,k}$	21	10,8
Tração perpendicular às fibras (N/mm ²)	$f_{t,90,k}$	0,49	0,46
Compressão paralela às fibras (N/mm ²)	$f_{c,0,k}$	24,7	18
Compressão perpendicular às fibras (N/mm ²)	$f_{c,90,k}$	7,3	6,9
Corte (N/mm ²)	$f_{v,k}$	3,4	2,0
Módulo de elasticidade (kN/mm ²)			
Paralelo às fibras			
(Valor médio)	E_{mean}	14	12
(Valor característico)	$E_{0,05}$	9,38	8,0
Perpendicular às fibras (Valor médio)	E_{mean}	0,46	0,40
Módulo de distorção (kN/mm ²)			
	G_{mean}	0,87	0,75
Massa volúmica (kg/m ³)			
(Valor médio)	ρ_{mean}	610	580
(Valor característico)	ρ_k	490	460

Tal como se observa no quadro anterior, as classes de qualidade E e EE correspondem às classes de resistência C18 e C35, respectivamente, estabelecidas na EN 338:2009.

A NP EN 1912:2013 apresenta a correspondência entre as classes de resistência e as classes de qualidade das diferentes espécies de madeira submetidas a normalização segundo as directivas da classificação visual, abrangendo o sistema regulamentar de diversos países. No caso das classes de qualidade do Pinho bravo português, esta norma apenas reconhece a classe de resistência C18

associada à classe de qualidade E (madeira para estruturas). O que significa que em termos de certificação do produto, a classe EE (madeira especial para estruturas) é desvalorizada não lhe sendo atribuída a classe de resistência C35 (NP EN 1912:2013).

3.4. Classificação visual segundo a norma italiana UNI 11119:2004

A norma italiana UNI 11119:2004 destina-se à avaliação, inspecção e diagnóstico *in situ* de estruturas de madeira em serviço. Ao contrário de algumas normas europeias, esta não se aplica a madeira nova, razão pela qual é frequentemente utilizada para a avaliação do estado de conservação e propriedades mecânicas de edifícios antigos de madeira (Silva, 2011).

À semelhança da norma portuguesa, a presente norma estabelece um conjunto de conceitos imprescindíveis para a leitura e compreensão da mesma, tais como alteração, defeitos, diagnóstico, ensaios não destrutivos, secção crítica e secção residual. Uma das definições mais importantes presentes no documento é a de secção crítica.

Esta norma prevê a avaliação das peças em função da zona crítica, ou seja, na zona do elemento sujeita a maiores esforços tendo em conta os defeitos presentes num comprimento mínimo de 150 milímetros em redor da mesma. Este comprimento apenas representa um valor mínimo, sendo que em caso de defeitos significativos nas imediações da secção crítica, o mesmo pode ser aumentado. Assim surge o conceito de secção crítica (secção transversal representativa da zona crítica) que engloba todos os carregamentos e defeitos presentes ao longo do seu comprimento. Pode-se concluir que a secção crítica varia em função do tipo de elemento e do carregamento a que este se encontra submetido. Tal como na norma portuguesa, à secção em análise deve ser retirada a percentagem de madeira consumida ou degradada caso se verifique a presença de degradação biológica, designando-se a secção resultante por secção útil ou secção eficiente.

A norma destaca ainda três condições indispensáveis para a correcta avaliação da madeira: acessibilidade, limpeza e luminosidade. O documento apresenta-se muito bem estruturado e contém informação que facilita o trabalho de campo realizado numa campanha de inspecção e ensaios. Como exemplo do referido destaca-se a descrição pormenorizada dos objectivos e dos processos de execução inerentes à inspecção a realizar (**Quadro 3.10**).

Por se tratar de uma norma de aplicação *in situ*, são referidas algumas das limitações susceptíveis de serem identificadas, como por exemplo a inacessibilidade a alguns elementos ou a algumas das suas faces. Desta forma, de modo a ultrapassar as limitações encontradas no local é recomendada a execução de ensaios não destrutivos, possibilitando uma melhor quantificação de várias propriedades

mecânicas da madeira em análise. É ainda referido o carácter pouco intrusivo dos ensaios não destrutivos, razão pela qual a sua utilização é aconselhada como meio complementar da avaliação.

A norma estabelece três classes de qualidade (I, II e III) atribuídas em função das características identificadas no local relacionadas com os seguintes aspetos: descaio, nós (isolados ou agrupados), Inclinação do fio, fendas de retracção e outros defeitos (fissuras de congelamento e entre anéis).

Quadro 3.10. Objectivos e processo de execução de avaliação e inspecção *in situ* (UNI 11119:2004)

Fase	Objectivos	Processo de execução
1	Espécie da madeira	Identificação da espécie da madeira em avaliação
2	Teor de água	Medição do teor de água das peças, bem como a avaliação de existência de gradientes térmicos
3	Classe de risco biológico	Identificação da classe de risco de cada elemento, tendo em conta as condições a que se encontra sujeito (EN 335-1 e EN 335-2)
4	Descrição geral e da geometria das peças	Medição da geometria dos elementos de madeira, bem como a presença de defeitos (descaio, deformação, presença e posição da medula, irregularidades de crescimento, degradação biológica, secção crítica e residual, entre outros)
5	Classificação da resistência	Identificação, localização e descrição das zonas e secções críticas. Em conjunto com o passo referido e de forma a colmatar os resultados obtidos, deve-se proceder à realização de ensaios não destrutivos. Por fim, aplica-se os limites impostos pela presente norma e atribui-se a classe de qualidade respectiva (I, II ou III)

No **Quadro 3.11**, apresentam-se os limites impostos pela normalização para cada uma das classes de qualidade. Para cada um dos defeitos presentes no quadro seguinte, a norma apresenta algumas recomendações que auxiliam e facilitam a sua medição. Estas recomendações encontram-se descritas seguidamente:

- Descaio: resulta do quociente entre o cateto do descaio e o comprimento do lado correspondente do elemento. Como o descaio apresenta dois catetos, deve ser tido em conta o menor valor do quociente;
- Nós isolados: calculados a partir da relação entre o menor diâmetro do nó e a dimensão do lado onde se encontram;
- Nós agrupados: obtidos através da relação entre a soma dos diâmetros mínimos dos nós presentes num comprimento de 150 milímetros e o respectivo comprimento do lado do elemento;
- Inclinação do fio: deve ser medido na direcção paralela ao eixo longitudinal da peça, afastado de nós ou outros defeitos que influenciam o percurso do fio da madeira. O fio deve ser medido sobre um comprimento mínimo de 150 milímetros.

É importante referir que todos os parâmetros referidos anteriormente devem ser calculados de acordo com a secção útil e correspondentes altura e base actual do elemento, ou seja, descontando a percentagem de madeira degradada.

Quadro 3.11. Classes de qualidade atribuídas pela norma italiana (UNI 11119:2004)

Característica		Classes de qualidade		
		I	II	III
Descaio		$\leq \frac{1}{8}$	$\leq \frac{1}{5}$	$\leq \frac{1}{3}$
Outros defeitos	Fissuras de congelamento	Ausente	Ausente	Admissível mas com algumas limitações
	Fissuras entre anéis			
Nós	Isolados	$\leq \frac{1}{5}$ (de b ou h) $\leq 50 \text{ mm}$	$\leq \frac{1}{3}$ (de b ou h) $\leq 70 \text{ mm}$	$\leq \frac{1}{2}$ (de b ou h)
	Grupos	$\leq \frac{2}{5}$ (de b ou h)	$\leq \frac{2}{3}$ (de b ou h)	$\leq \frac{1}{3}$ (de b ou h)
Inclinação do fio	Secção radial	$\leq \frac{1}{14}$ (-7%)	$\leq \frac{1}{8}$ (-12%)	$\leq \frac{1}{5}$ (20%)
	Secção tangencial	$\leq \frac{1}{10}$ (10%)	$\leq \frac{1}{5}$ (20%)	$\leq \frac{1}{3}$ (-33%)
Fendas de retracção		Admissível desde que não atinja a medula		

Assim, em função da classe de qualidade atribuída a cada elemento e da espécie de madeira, a norma fornece um conjunto de valores máximos de resistência e de rigidez. Os valores correspondentes à espécie de madeira de Pinho (Pinho Bravo ou Casquinha) estão presentes no **Quadro 3.12**.

Quadro 3.12. Propriedades mecânicas correspondentes às classes de qualidade atribuídas (UNI 11119:2004)

Grau de classificação				I	II	III	
Tensão máxima admissível (N/mm ²)	Propriedades resistentes	Compressão	Paralela às fibras	$f_{c,0,k}$	11,0	9,0	7,0
			Perpendicular às fibras	$f_{c,90,k}$	2,0	2,0	2,0
	Flexão estática		$f_{m,k}$	12,0	10,0	8,0	
	Tração paralela ao fio		$f_{t,0,k}$	9,0	6,0	11,0	
	Corte		$f_{v,k}$	0,9	0,8	0,8	
	Propriedades de rigidez	Módulo de elasticidade médio paralelo ao fio		$E_{0,mean}$	12000	11000	10000

4. Apresentação do caso de estudo

Este capítulo destina-se à exposição da inspecção e diagnóstico realizada com recurso a métodos e ensaios não destrutivos a três zonas específicas do caso de estudo: Palacete Ribeiro da Cunha. Segundo o exposto no **Capítulo 3.2**, serão apresentados todos os dados relevantes e resultados obtidos durante a elaboração das três fases de inspecção (preliminar, detalhada e interpretação).

4.1. Descrição do edifício

Seguidamente é apresentada a informação recolhida acerca da localização, história e caracterização estrutural e arquitectónica do edifício em estudo.

4.1.1. Localização

O edifício em estudo localiza-se em Lisboa, mais precisamente na Rua da Escola Politécnica no Príncipe Real. A entrada secundária para a propriedade pode ser efectuada pela Calçada da Patriarcal, tal como se pode constatar na **Figura 4.1**.



Figura 4.1: Localização do edifício

Este edifício tem a particularidade de se situar em frente ao Jardim do Príncipe Real e nas traseiras do Jardim Botânico, tornando assim o espaço envolvente mais agradável e atrativo.

4.1.2. História

O edifício é denominado por Palacete Ribeiro da Cunha, sendo o projecto datado do ano de 1877 e assinado pelo Arquitecto Henrique Carlos Afonso. O proprietário, Ribeiro da Cunha, era um abastado comerciante do negócio do tabaco.

Em 1901, o Palacete foi vendido a um famoso capitalista Lisboaeta, Ernesto Seixas. A família Seixas habitou no edifício cerca de duas décadas, sendo que por volta de 1920 foi transacionado passando a ser propriedade de Manuel Carço. Posteriormente, o edifício foi herdado pela sua filha e seu esposo Lopo de Carvalho.

Nos anos oitenta, a família Carvalho habitava apenas no quarto e último piso, tendo sido os restantes pisos arrendados à Reitoria da Universidade Nova de Lisboa. Após alguns anos fechado, actualmente o edifício pertence à empresa Eastbanc e encontra-se em fase de reabilitação. Esta intervenção tem o objectivo de manter o valor histórico e patrimonial mas também restabelecer as qualidades de habitabilidade e segurança do Palacete (*Diário de Notícias, 2010*). Ao longo da sua história, o edifício não sofreu alterações em relação ao seu estado original, mantendo todas as suas características iniciais (**Figura 4.2**).



Figura 4.2: Palacete Ribeiro da Cunha (Eastbanc)

4.1.3. Caracterização estrutural e arquitectónica

O Palacete apresenta um estilo neo-árabe e representa o típico género romântico oitocentista português. O edifício é constituído por quatro pisos apresentando uma área total de construção de 2500 m². Para além da grande área, apresenta também algumas características de enorme interesse e valor arquitectónico, tais como: vitrais, frescos, pátio interior com inspiração árabe, escadaria nobre (**Figura 4.3**), lareiras em arte nova e vista privilegiada para o Jardim Botânico. Para além disso, destaca-se a cobertura ornamentada com quatro cúpulas. A propriedade é também constituída por um jardim e outros dois edifícios adjacentes (Vale & Ferreira, 2002).

O Palacete é um edifício pombalino caracterizado pela construção em madeira: pavimentos, paredes, escadas e cobertura. O edifício apresenta uma construção de grande qualidade, tanto a nível de materiais como métodos construtivos. Um exemplo disso, é a existência de paredes resistentes com gaiola pombalina bem executada que se mantêm intactas até ao dia de hoje.



Figura 4.3: Pátio interior e escadaria (Eastbank)

4.2. Identificação do esquema estrutural e caracterização das zonas de estudo

Este trabalho assenta sobre o estudo de três zonas localizadas no último piso do edifício: pavimento, cobertura dos arrumos e cobertura do lanternim (Figura 4.4). Optou-se pela escolha de três zonas distintas em termos de método construtivo, função e patologias associadas a degradação biológica existente, para que o trabalho abrange-se uma área maior de intervenção e conhecimento.

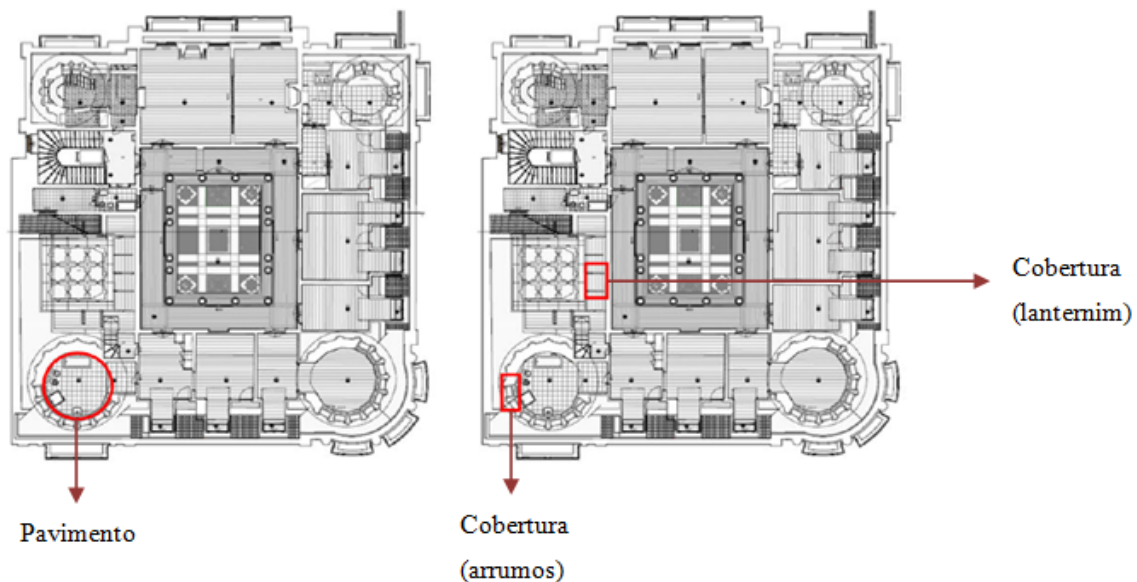


Figura 4.4: Localização das zonas em estudo

Nos capítulos subsequentes serão definidas as características geométricas, bem como, o sistema construtivo e estrutural aplicado em cada área sujeita a ações de inspeção e diagnóstico. Em relação à espécie de madeira utilizada nos vários elementos construtivos, é provável que se trate de Casquinha

ou Pinho Bravo. Para a confirmação da espécie seria necessário recorrer a recolha de amostras para ensaios laboratoriais, o que não foi possível, dado o carácter exclusivamente não intrusivo do trabalho.

4.2.1. Pavimento

O pavimento em análise é referente à divisão de instalação sanitária do último piso (segundo andar) do edifício apresentado. A instalação sanitária permite a ligação a uma divisão de arrumos, cuja estrutura de cobertura também será alvo de avaliação ao longo deste trabalho. A cobertura do compartimento é em forma de cúpula adornada com várias janelas, que possibilitam a entrada de luz natural. A instalação sanitária é adornada por revestimento cerâmico e ainda se encontram presentes no local algumas canalizações e equipamentos sanitários. Em relação aos vãos da divisão, estes são constituídos por caixilharias de madeira (portas e janelas).

Na **Figura 4.5**, apresenta-se a vista geral da entrada da divisão e o pormenor da disposição das vigas.



Figura 4.5: Vista geral do pavimento (entrada da instalação sanitária) e disposição das vigas

As dimensões dos elementos (altura, largura, comprimento e área da secção), são apresentadas no **Quadro 4.1**. Neste caso, foram distinguidos dois tipos de elementos construtivos do pavimento: vigas e tarugos. Na estrutura do pavimento foram contabilizadas 14 vigas e 2 sequências de tarugos. As vigas estão dispostas na direcção perpendicular à fachada da entrada principal do edifício, localizada no piso zero. Os tarugos estão dispostos perpendicularmente às vigas e conseqüentemente apresentam-se paralelos à fachada principal. A união entre os dois elementos é realizada por ligações do tipo “orelha derrabada”. As dimensões das vigas são semelhantes, variando entre 0,210 e 0,225 metros de altura e 0,084 e 0,110 metros de largura. Por outro lado, os tarugos apresentam maior uniformização em termos de dimensões, apresentando a mesma largura e altura entre si.

Quadro 4.1: Dimensões geométricas das vigas e tarugos do pavimento

Pavimento					
Elemento	Altura h (m)	Largura b (m)	Comprimento L (m)	Área da secção (m ²)	
Viga	1	0,220	0,090	1,980	0,020
	2	0,215	0,093	1,980	0,020
	3	0,220	0,090	1,980	0,020
	4	0,225	0,093	1,980	0,021
	5	0,216	0,085	2,200	0,018
	6	0,222	0,093	3,100	0,021
	7	0,220	0,089	3,330	0,020
	8	0,210	0,110	3,890	0,023
	9	0,220	0,090	3,950	0,020
	10	0,220	0,087	3,880	0,019
	11	0,210	0,085	3,690	0,018
	12	0,220	0,084	3,220	0,018
	13	0,210	0,107	2,815	0,022
	14	0,215	0,085	1,727	0,018
	Média	0,217	0,092	2,837	0,020
Tarugo	15	0,170	0,071	3,545	0,012
	16	0,180	0,071	5,421	0,013
		Média	0,175	0,071	4,483

Para além das características geométricas das peças de madeira, foi contabilizado o espaçamento entre as mesmas. No **Quadro 4.2**, apresentam-se os respectivos espaçamentos, face a face e entre eixos de vigas.

Quadro 4.2: Espaçamento entre vigas do pavimento

Pavimento		
Elementos	Espaçamento (m) - Face a Face	Espaçamento (m) - Entre eixo
1 - 2	0,320	0,412
2 - 3	0,285	0,377
3 - 4	0,295	0,387
4 - 5	0,330	0,419
5 - 6	0,330	0,419
6 - 7	0,270	0,361
7 - 8	0,310	0,410
8 - 9	0,270	0,370
9 - 10	0,310	0,399
10 - 11	0,310	0,396
11 - 12	0,285	0,370
12 - 13	0,260	0,356
13 - 14	0,285	0,381
	Média	0,297

Em relação ao espaçamento observado *in situ*, conclui-se que se insere no espaçamento indicado no **Quadro 2.5** do **Capítulo 2.1.2.2**, verificando-se uma média de 0,389 metros de distância entre eixo de

vigas. Ao contrário do referido no **Capítulo 2.1.2.2.**, verifica-se que o espaçamento das vigas é superior à sua largura. As sequências de tarugos 15 e 16 encontram-se afastados de 1,545 metros face a face e 1,630 metros entre eixos. Para além dos tarugos, foram identificados outros elementos de travamento de vigas, apresentados na **Figura 4.6**. Trata-se de um elemento diagonal que favorece a interligação entre vigas (2 e 3) e tarugo (15).



Figura 4.6: Pormenor de travamento do pavimento

Em termos de inspecção e diagnóstico, este elemento não foi inserido no estudo. Porém, a sua presença revela o elevado cuidado com o travamento das estruturas aplicado na construção, característica comum dos edifícios pombalinos.

Os elementos do pavimento, tal como já foi referido apresentam-se revestidos superiormente por tábuas de soalho. As tábuas apresentam largura de 0,26 metros e espessura de 0,04 metros.

A ligação entre as tábuas é do tipo macho-fêmea (ou soalho à inglesa), tal como se pode observar na **Figura 4.7**. No local foi possível identificar a utilização de pregagem de modo a fixar o revestimento. As tábuas estão colocadas na direcção perpendicular à das vigas e paralela aos tarugos.



Figura 4.7: Ligação do tipo “macho-fêmea” entre as tábuas de soalho

O revestimento inferior do pavimento não é facilmente identificável, visto que no piso inferior o tecto contém pinturas e adornamentos. Porém, através da observação do espaço entre as vigas, verifica-se a presença de camada de estuque. No **Quadro 4.3**, são apresentadas algumas imagens do aspecto geral dos elementos construtivos do pavimento.

Quadro 4.3: Visualização geral dos elementos construtivos do pavimento



4.2.2. Cobertura (arrumos)

Como já foi referido, a divisão dos arrumos está associada à divisão da instalação sanitária. É um local pouco ventilado e com ausência de luz natural. Trata-se de uma cobertura triangular, inclinada e não-tradicional, composta por meia asna. Entre os constituintes, foram sujeitos a diagnóstico os seguintes elementos: perna de asna (2 e 3) e madres (1 e 4), cujas características dimensionais são apresentadas no **Quadro 4.4**.

Quadro 4.4: Dimensões geométricas dos elementos construtivos da cobertura dos arrumos

Cobertura - Arrumos				
Elemento	Altura h (m)	Largura b (m)	Comprimento L (m)	Área da secção (m ²)
1	0,159	0,050		0,008
2	0,140	0,110	1,809	0,015
3	0,150	0,075	1,577	0,011
4	0,149	0,046		0,007

Na **Figura 4.8**, é apresentada a vista geral da entrada da divisão e em pormenor os elementos sujeitos a inspecção.



Figura 4.8: Entrada da divisão dos arrumos e pormenor da numeração dos elementos escolhidos para a inspecção e diagnóstico

Com a análise do quadro anterior, verifica-se alguma uniformização em termos de altura das peças, mas o mesmo não se verifica para o valor da largura. As madres (1 e 4) apresentam um valor médio de 0,154 metros de altura e 0,048 metros de largura. Por outro lado, as pernas de asna (2 e 3) têm 0,145 metros de altura e 0,093 de largura. O comprimento dos elementos 1, 3 e 4 não é apresentado porque se tratam de elementos contínuos que se desenvolvem ao longo do edifício. Porém, o comprimento inspecionado é menor e é compreendido entre os elementos 2 e 3.

Sobre as madres está assente um conjunto de elementos contínuos (tábuas), colocados em direcção oposta, que acompanham a inclinação da vertente e foram a estrutura interior de cobertura. A

estrutura exterior da cobertura (ripa e contra-ripas) não se encontra acessível para observação. As madres estão colocadas perpendicularmente às pernas de asna e recebem superiormente o forro.

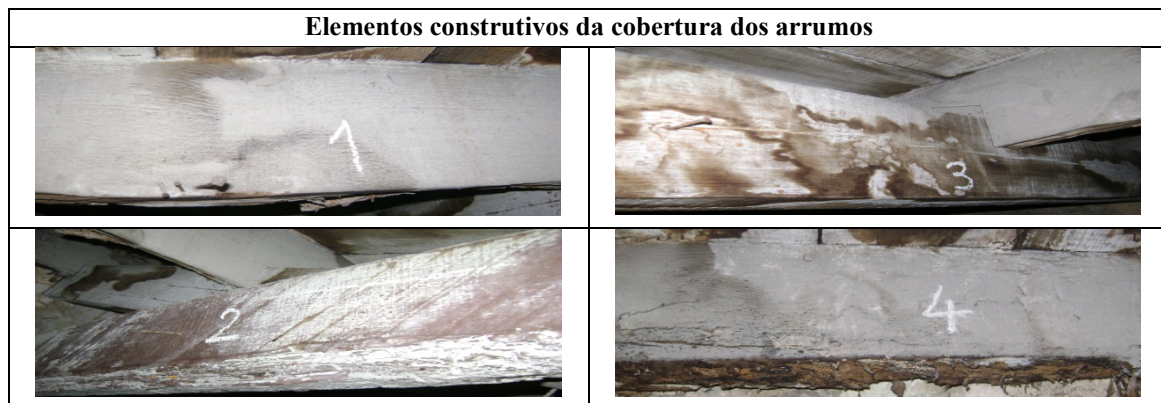
Pela observação no exterior do edifício, conclui-se que a cobertura é também constituída por telhas cerâmicas do tipo aba e canudo (**Figura 4.9**).



Figura 4.9: Pormenor da cobertura: telhas

No **Quadro 4.5**, são apresentadas algumas imagens do aspecto geral dos elementos construtivos da cobertura dos arrumos.

Quadro 4.5: Visualização geral dos elementos construtivos da cobertura dos arrumos



4.2.3. Cobertura (lanternim)

No edifício em estudo, existem dois lanternins localizados no átrio e entrada principal. Neste caso, o lanternim alvo de inspeção potencia a entrada de iluminação natural na entrada principal do edifício. Trata-se de um lanternim de vidro com geometria quadrangular e com inclinação de quatro águas.

A cobertura do lanternim é não-tradicional, ou seja, o esquema estrutural e construtivo diverge do existente em outros edifícios. Todos os elementos construtivos desta cobertura apresentam pintura de cal. O estudo incide sobre os dois primeiros conjuntos de elementos construtivos compostos por: escoras verticais (1 e 3), diagonais (2 e 4) e nível (5). Os pendurais (1 e 3) distam entre si cerca de 1,08 metros.

Na **Figura 4.10**, está apresentada a estrutura construtiva da cobertura do lanternim.



Figura 4.10: Vista global da cobertura dos arrumos

Tal como se pode observar na primeira imagem da figura anterior, o primeiro conjunto estrutural não apresenta nível, elemento que apenas surge a partir do segundo. O nível desenvolve-se ao longo de todo o lanternim, razão pela qual não é indicado no **Quadro 4.6** o seu comprimento. Porém, apenas foi avaliado o tramo visível e susceptível de ser analisado.

Quadro 4.6: Dimensões geométricas dos elementos construtivos da cobertura do lanternim

Cobertura - Lanternim				
Elemento	Altura h (m)	Largura b (m)	Comprimento L (m)	Área da secção (m ²)
1	0,160	0,110	1,940	0,018
2	0,151	0,110	2,020	0,017
3	0,132	0,077	1,820	0,010
4	0,120	0,077	2,008	0,009
5	0,152	0,094		0,014

No quadro anterior, são apresentadas as características geométricas dos diferentes elementos analisados. Em termos de valores médios de altura da secção transversal, as escoras apresentam 0,146 metros, enquanto que as diagonais têm 0,136 metros. Por outro lado, em relação à largura média, ambos apresentam 0,094 metros.

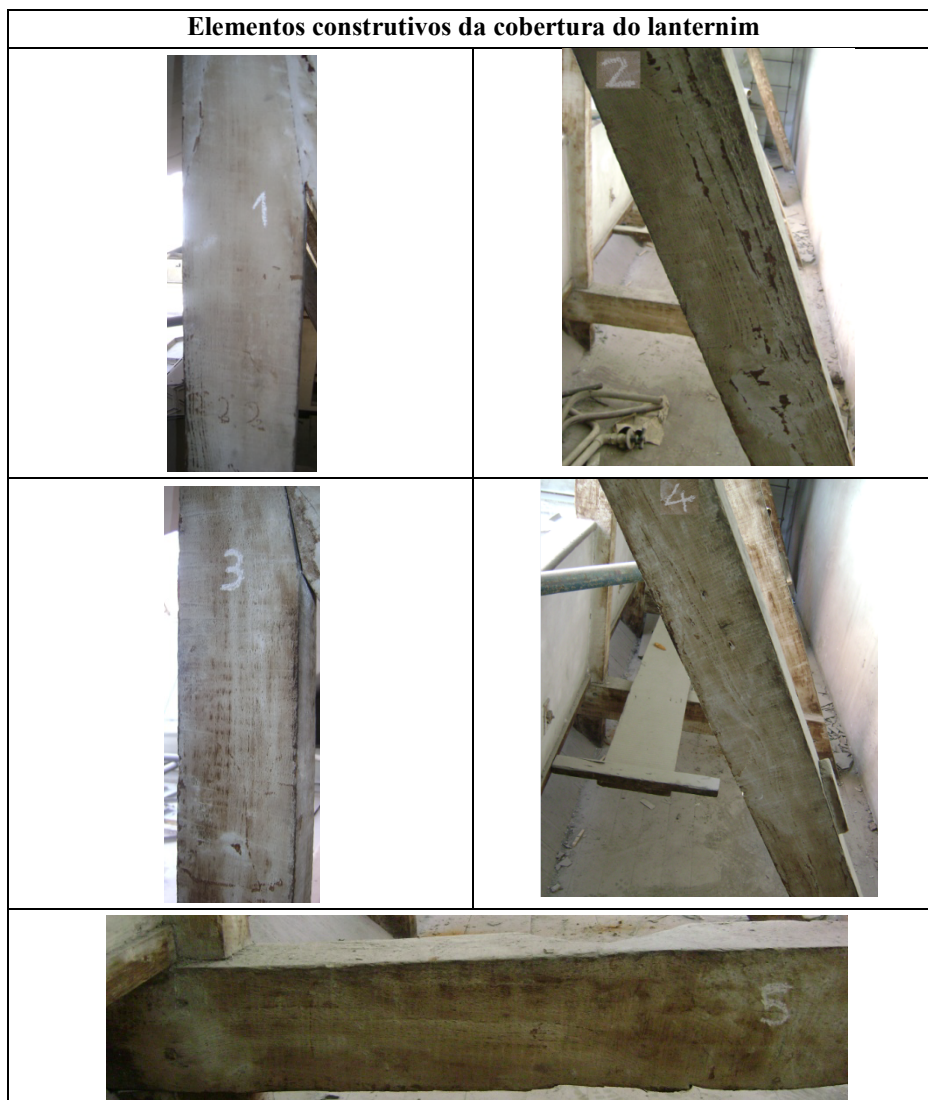
Pensa-se que a união entre as escoras e diagonais é realizada por meio ligações de samblagem do tipo respiga e mecha, tal como se pode observar na **Figura 4.11**. Nesta mesma figura ainda é possível observar a ligação do nível com o pendural e diagonal realizada por encaixe e reforçada com elementos metálicos de pregagem.



Figura 4.11: Ligação do tipo respiga e mecha entre os pendurais e diagonais e Ligação de encaixe entre nível-pendural e nível-diagonal

No **Quadro 4.7**, são apresentadas algumas imagens do aspecto geral dos elementos construtivos do pavimento.

Quadro 4.7: Visualização geral dos elementos construtivos da cobertura do lanternim



5. Inspeção e diagnóstico das zonas de estudo

Neste capítulo pretende-se apresentar a metodologia de intervenção previamente estabelecida, o trabalho realizado *in situ* (inspeção visual e meios auxiliares de diagnóstico utilizados) e os resultados e conclusões obtidos após a avaliação.

5.1. Metodologia de inspeção aplicada

O presente estudo foi realizado segundo a metodologia mencionada e apresentada na **Figura 3.2** do **Capítulo 3**. A inspeção e diagnóstico iniciou-se com a fase preliminar através de breve pesquisa e estudo da história do edifício em causa, incluindo época de construção, materiais e métodos construtivos, visualização de fotografias/imagens (interiores e exteriores), consulta de peças desenhadas (plantas e cortes), entre outros. Nesta etapa, foi reconhecido o elevado valor histórico e arquitetónico da edificação. Após uma análise inicial, foram selecionados os locais a inspecionar e identificação das zonas degradadas dos elementos construtivos. Seguidamente procedeu-se ao estudo da patologia, englobando inspeção visual e aplicação de ensaios não destrutivos (fase detalhada). A utilização destes meios permite a elaboração de um diagnóstico mais pormenorizado e exacto. No seguimento da realização dos ensaios, recolheram-se os resultados obtidos e dados relevantes para a elaboração de um parecer sobre o estado de conservação dos locais em causa.

5.2. Métodos não destrutivos de diagnóstico utilizados *in situ*

Os métodos não destrutivos de diagnóstico dividem-se em tradicionais e não-tradicionais. Entre os métodos tradicionais foram utilizados os seguintes: inspeção visual e Humidímetro. No caso dos métodos não-tradicionais recorreu-se à utilização do Resistógrafo e Pilodyn, ambos métodos de ensaio local. No sub-capítulo subsequente serão abordados todos os pormenores quanto aos métodos utilizados ao longo da avaliação.

5.2.1. Métodos tradicionais

5.2.1.1. Inspeção visual

Neste estudo, a apreciação visual revelou-se um importante método de inspeção. Isto porque para além de ser passível de ser utilizada em qualquer compartimento ou zona, permitiu a identificação de

patologias e quantificação aproximada das secções residuais dos elementos, servindo como indispensável complemento aos ensaios realizados. Assim, todas as peças das três zonas englobadas neste estudo foram sujeitas a um rigoroso plano de inspeção visual. A inspeção visual foi realizada com o auxílio das seguintes ferramentas: lâmina metálica, fita métrica, lanterna, comparador de fendas e escova para limpeza (**Figura 5.1 e 5.2**).



Figura 5.1: Quantificação da secção residual das vigas do pavimento (lâmina metálica) e registo das dimensões dos elementos construtivos em análise fita métrica)

Para além das ferramentas apresentadas anteriormente, esta fase requereu a utilização de máquina fotográfica para a recolha de imagens do local. Ao longo da realização da inspeção visual, recolheu-se muita informação que foi registada no local. A fase de inspeção visual incluiu também a aplicação da norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual), através da apreciação do aspecto visual das peças tendo em conta as suas características intrínsecas e defeitos (**Capítulos 2.6 e 3.6.2**).



Figura 5.2: Medição do comprimento das vigas do pavimento

Na fase de inspeção visual foram identificadas as condições de aplicação das peças (tipo de ambiente: exterior ou interior, contacto com o solo, existência de protecção, presença de água doce ou salgada) para a determinação das Classes de risco de cada elemento estrutural. As classes de risco são apresentadas pela norma NP EN 335-2:2011 (Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça). A definição da classe

de risco permite perceber se o elemento em análise, em função da sua situação em serviço, é propício ao ataque de agentes xilófagos.

Na norma são definidas cinco classes de risco, desde a Classe 1 (menos gravosa) até à Classe 5 (Classe com maior grau de exposição aos agentes biológicos). No **Quadro 5.1**, apresenta-se um resumo das classes de risco de estruturas de madeira e seus requisitos.

Quadro 5.1: Classes de risco de estruturas de madeira (Adaptado de NP EN 335-2:2006)

Classe de risco	Situação geral de serviço	Descrição da exposição à humidade (teor de água em %)	Ocorrência de agentes biológicos					
			Fungos			Caruncho	Térmitas	Xilófagos marinhos
			Podridão Castanha	Podridão Branca	Podridão Mole			
1	Interior protegido e sem contacto com o solo	Nenhuma (Máximo 20%)				x	x	
2	Interior protegido ou não, sem contacto com o solo mas com risco de ocorrência de humificação	Ocasional (>20%)	x			x	x	
3	3.1 Exterior protegido e sem contacto com o solo e protegido	Ocasional (>20%)	x	x		x	x	
	3.2 Exterior protegido e sem contacto com o solo e desprotegido	Frequente (>20%)	x	x		x	x	
4	4.1 Exterior em contacto com o solo e/ou em contacto com água doce	Permanente (>20%)	x	x	x	x	x	
	4.2 Exterior enterrado no solo e/ou água doce	Permanente (>20%)	x	x	x	x	x	
5	Imerso em água salgada	Permanente (>20%)	x	x	x	x	x	x

5.2.1.2. Humidímetro de contacto

A medição do teor de água foi realizada com recurso ao Humidímetro de contacto em todos os elementos construtivos do pavimento, da cobertura dos arrumos e da cobertura do lanternim (**Figura 5.3**).



Figura 5.3: Utilização do humidímetro de contacto em viga do pavimento

Em cada peça foram efectuadas três leituras que posteriormente possibilitaram o cálculo do teor de água médio de cada elemento.

5.2.2. Métodos não-tradicionais

5.2.2.1. Resistógrafo

O ensaio com Resistógrafo foi utilizado nas três zonas de intervenção. Cada ensaio possui a sua numeração, iniciando-se com a letra R seguida do número do ensaio, como por exemplo: R1 (ensaio com Resistógrafo número 1). A localização da realização dos ensaios pode ser visualizada nas peças desenhadas. Por se tratar de um ensaio com equipamento pesado e de grandes dimensões, a sua realização foi condicionada (**Figura 5.4**).



Figura 5.4: Utilização do Resistógrafo (Henriques *et al*, 2007)

Este ensaio foi realizado com dois objetivos. Por um lado, tentou-se perceber o estado interior de peças cujo aspecto exterior apresentava algum avanço de degradação. Por outro, realizou-se o ensaio em peças com aspecto são para que se pudesse realizar uma comparação entre diferentes estados de conservação. O equipamento utilizado (IML – Resi B Line Version 1.5S) foi cedido para a realização deste trabalho pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Em todos os ensaios realizados com o Resistógrafo utilizou-se a velocidade de avanço da agulha de vinte centímetros por minuto (20 cm/min). Em cada ensaio, o perfil resistográfico foi impresso no local para a realização de uma avaliação inicial. Posteriormente, para a avaliação detalhada, os gráficos foram descarregados para formato electrónico com recurso ao software *B-tools Pro*.

Com o perfil resistográfico é possível calcular a medida resistográfica (MR). Trata-se de uma grandeza aplicável apenas a madeira sã, pelo que se devem excluir os primeiros e últimos 2 milímetros do perfil relativos à resistência inicial oferecida pela madeira à perfuração (Henriques, 2011), e no caso de se

verificar degradação, o intervalo correspondente também deverá ser excluído. O valor da medida resistográfica é dado pela **Equação 5.1** (Feio, 2006):

$$MR = \frac{\int_0^h \text{Área}}{h} \quad (5.1)$$

Neste caso, o valor de h representa a extensão do perfil excluindo 2 milímetros de cada extremidade, tal como se já foi referido anteriormente.

Segundo o trabalho desenvolvido por Henriques (2011), a resistência média à perfuração apresenta uma boa correlação com a massa volúmica, para madeira de pinho. A regressão apresenta o factor de determinação, $R^2=0,87$, variável que explica a elevada adequabilidade da regressão e significa que 87% da variância é explicada pela expressão, tal como se pode observar na **Figura 5.5**.

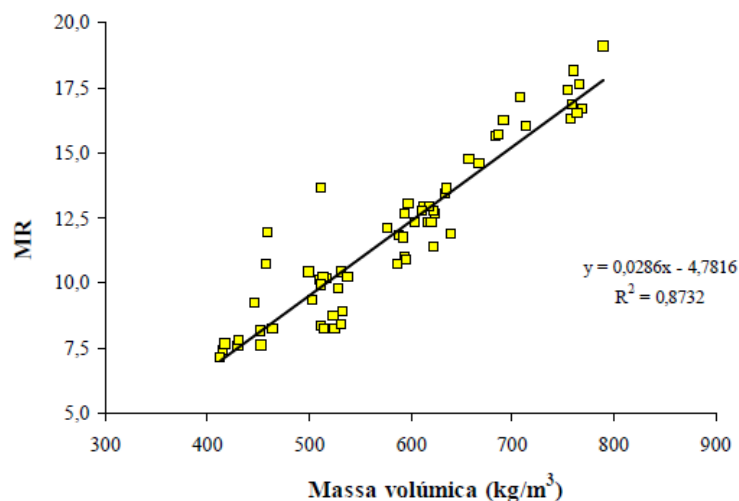


Figura 5.5: Medida resistográfica versus massa volúmica (Henriques, 2011)

Este estudo é muito útil e vantajoso, porque permite que a partir do cálculo da medida resistográfica e aplicando a equação apresentada na figura seguinte se quantifique a massa volúmica da peça ensaiada. Neste caso, na impossibilidade de realização de ensaios específicos para a quantificação da massa volúmica dos elementos analisados, a aplicação da regressão facilitará a quantificação da massa volúmica.

Segundo Machado&Cruz (1997), existem três factores que condicionam directamente o resultado da medida resistográfica: tipo de aparelho, velocidade e teor em água.

5.2.2.2. Pilodyn

Tal como os restantes ensaios já abordados, este também foi executado nos três locais de estudo. Este ensaio foi realizado nas mesmas peças e nas proximidades dos locais onde se executaram os ensaios com Resistógrafo, com a atenção de realizar o ensaio em zonas sãs. Por cada ensaio com o Resistógrafo, realizaram-se cinco leituras da dureza superficial da madeira com recurso a Pilodyn, cada uma com a respectiva numeração. As várias medições possibilitam o cálculo da dureza superficial média de cada peça avaliada.

Na **Figura 5.6**, é apresentado o equipamento utilizado para a avaliação da dureza superficial das peças de madeira e que tal como o equipamento anterior foi cedido pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). O equipamento apresenta uma escala de 0 a 40 milímetros.

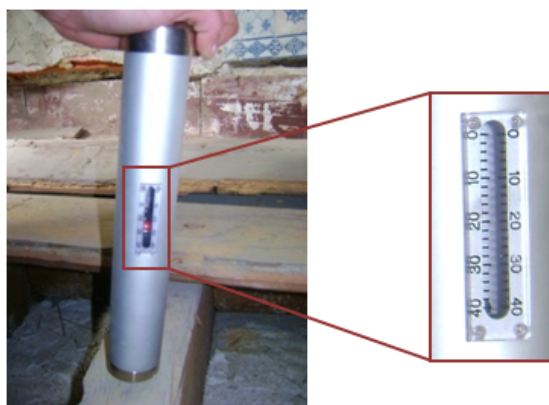


Figura 5.6: Pilodyn e pormenor da escala

À semelhança do apresentado no sub-capítulo anterior, Henriques (2011) também estudou a relação entre a profundidade de penetração (em milímetros), valor obtido através do ensaio com Pilodyn e a massa volúmica de madeiras de pinho bravo e casquinha (**Figura 5.7**).

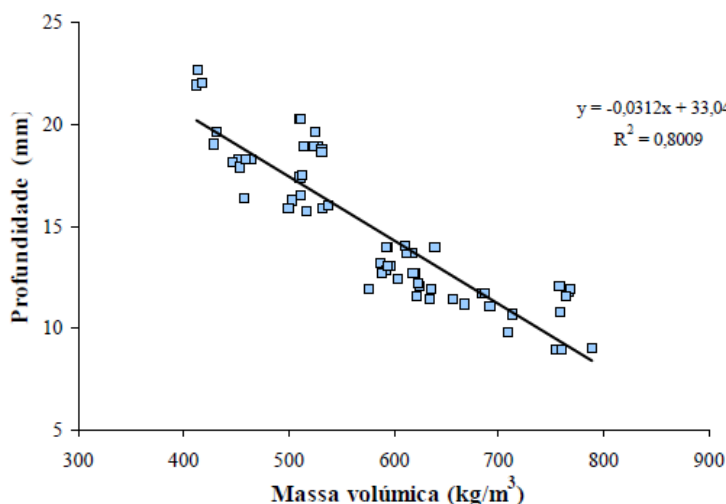


Figura 5.7: Profundidade de penetração do Pilodyn *versus* massa volúmica (Henriques, 2011)

A amostra é homogénea e adequa-se aos resultados em cerca de 80%, isto porque a variável R^2 ronda os 0,8. Henriques (2011), refere que os resultados inerentes ao ensaio foram obtidos em madeira sã (sem defeitos). Como era de esperar, a profundidade de penetração do pistão do equipamento Pilodyn tende a aumentar com a diminuição da massa volúmica.

Com a aplicação da expressão relativa à regressão recomendada por Henriques (2011), em função dos resultados do ensaio com Pilodyn, poderá obter-se o valor da massa volúmica de cada elemento ensaiado. Comparando o resultado obtido através da aplicação das duas correlações (Resistógrafo *versus* massa volúmica e Pilodyn *versus* massa volúmica) é possível estimar a massa volúmica ponderada dos elementos de madeira.

5.3. Apresentação de resultados

O presente capítulo destina-se à apresentação detalhada da inspeção e diagnóstico realizado nas três zonas de intervenção. Este capítulo inclui a análise individual dos elementos avaliados com métodos não destrutivos de inspeção e diagnóstico.

5.3.1. Pavimento

A metodologia adoptada após a chegada ao local iniciou-se com o levantamento das tábuas de soalho (revestimento superior) e seguidamente a numeração dos elementos construtivos, para que posteriormente, cada elemento pudesse ser analisado e avaliado individualmente. A presença de revestimento inferior das vigas dificultou tanto a medição da altura das vigas como a metodologia de inspeção e diagnóstico. Na generalidade, as vigas do pavimento apresentam-se sãs. Porém, numa análise mais detalhada identificou-se o ataque de caruncho grande (*Hylotrupes bajulus*) e pequeno (*Anobium Punctatum*) em seis dos elementos (3, 8, 9, 10, 11 e 13), que serão apresentados seguidamente (**Quadro 5.2**). Contudo, será ainda abordada a análise a uma viga sã (6) do mesmo local.

Quadro 5.2: Degradação biológica do pavimento

Localização	Degradação biológica	
	Elemento	Agente biológico
Pavimento	3	Caruncho (grande e pequeno)
	8	
	9	
	10	
	11	
	13	

Segundo a norma EN335-2:2006, o pavimento insere-se na Classe 2 de risco de ataque biológico, isto porque se trata de uma instalação sanitária e conseqüentemente encontra-se sujeita à exposição a humidade ocasional. Esta Classe apresenta elevada susceptibilidade ao ataque por caruncho, térmitas e podridão castanha.

No **Quadro 5.3**, pode observar-se o teor de água médio de cada elemento, bem como o teor de água médio de todo o pavimento.

Quadro 5.3: Medições do teor de água do pavimento

Elemento	Medições do Teor de água (%)			Média (%)
1	12,00	12,00	10,00	11,3
2	8,00	8,00	10,00	8,7
3	8,00	10,00	6,00	8,0
4	8,00	10,00	8,00	8,7
5	6,00	8,00	8,00	7,3
6	8,00	12,00	10,00	10,0
7	8,00	8,00	8,00	8,0
8	10,00	6,00	8,00	8,0
9	6,00	10,00	8,00	8,0
10	8,00	8,00	8,00	8,0
11	10,00	10,00	12,00	10,7
12	10,00	8,00	10,00	9,3
13	10,00	10,00	10,00	10,0
14	10,00	12,00	10,00	10,7
15	10,00	10,00	12,00	10,7
16	12,00	8,00	10,00	10,0
Valor médio do teor de humidade do pavimento				9,2

Seguidamente será apresentada a avaliação individual realizada para cada um dos elementos degradados. Os ensaios com Resistógrafo foram realizados nos cantos superiores das peças. Seria interessante a sua realização em outras direcções, como por exemplo nas faces, todavia devido ao comprimento do telescópio tal não foi possível, visto ser maior que o espaçamento entre vigas. Nas peças desenhadas I e II são apresentadas a vista geral e planta do pavimento, respectivamente.

▪ **Viga 3**

A Viga 3 apresenta a face orientada para Noroeste (NO) com aspecto enrugado e aparência ligeiramente escura, associada a degradação por caruncho. O canto superior também apresenta ligeira perda de secção, como se observa na **Figura 5.8**. Com a lâmina verificou-se a presença de serrim após a retirada da película superficial da peça.



Figura 5.8: Aspecto de degradação da Viga 3 do pavimento (Face orientada para Noroeste)

Com recurso à lâmina metálica, estimou-se a profundidade de madeira degradada (**Quadro 5.4**). Pela análise do quadro, verifica-se que a viga 3 perdeu 3 e 5 milímetros em altura e largura, respectivamente, que corresponde a perda de 6,8% da secção total.

Quadro 5.4: Perda de secção da Viga 3 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Viga 3	Altura (m)	0,220	0,217	0,003	6,8%
	Largura (m)	0,090	0,085	0,005	
	Área (m ²)	0,020	0,018	0,001	

Também foi possível identificar a presença de orifícios de saída de caruncho grande e pequeno (**Figura 5.9**).



Figura 5.9: Presença de orifícios de saída do caruncho na Viga 3 do pavimento

De acordo com os resultados do ensaio com o Humidímetro, a viga em análise apresenta um teor de água médio de 8,0%. A viga 3 não foi ensaiada visto que apresenta apenas uma ligeira degradação superficial. Assim, ao longo do estudo tentou-se privilegiar em termos de avaliação e inspeção as vigas que suscitaram maiores problemas de degradação.

▪ **Viga 6**

A viga 6 encontra-se sã e sem sinais de degradação biológica. Contudo, foi sujeita a campanha de ensaios para funcionar como termo de comparação com as restantes vigas degradadas. Este elemento apresenta um teor de água médio de 10%, valor muito inferior ao máximo estabelecido pela Classe de risco 2. Na **Figura 5.10**, pode observar-se a localização e numeração dos ensaios realizados neste elemento.



Figura 5.10: Localização dos ensaios realizados na Viga 6 do pavimento (Canto superior)

Neste caso, a amarelo representa-se o número do ensaio com o Resistógrafo (R5) e a branco os cinco ensaios com o Pilodyn. Na **Figura 5.11**, apresenta-se o perfil resistográfico obtido. O perfil apresenta-se bastante uniforme, observando-se facilmente a alternância normal de resistência dos anéis de Primavera e de Outono. A análise do perfil também permite admitir a ausência de degradação biológica na secção avaliada.

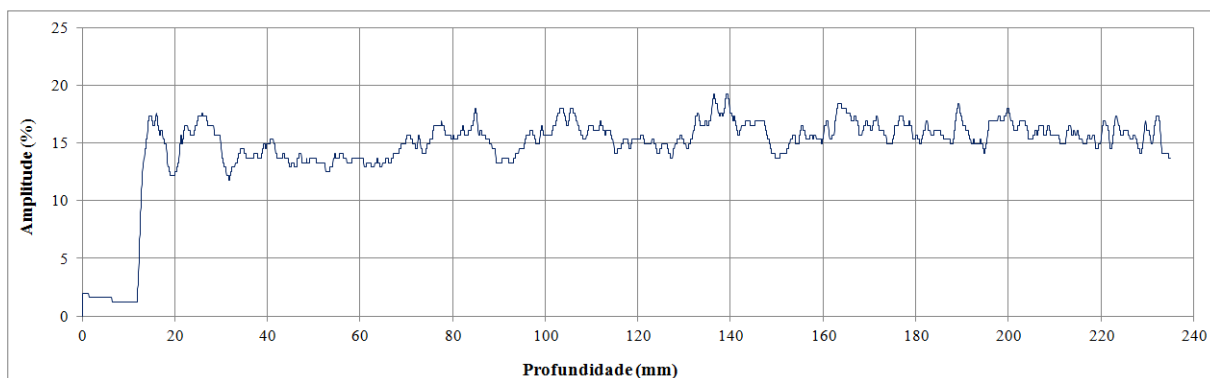


Figura 5.11: Perfil resistográfico R5 (Viga 6)

- **Viga 8**

A Viga 8 apresenta degradação por caruncho na face orientada para Noroeste (NO), Sudeste (SE) e no canto superior. A degradação estende-se ao longo de toda a viga, apresentando maior gravidade na zona inferior próxima da fachada. A viga apresenta um aspecto muito enrugado e empolado devido à degradação biológica. A camada superficial da face já se encontra destacada, provavelmente devido à tensão provocada pela camada de serrim subjacente. Quando sujeita à acção cortante da lâmina metálica também se observou a fraca resistência mecânica face à perfuração pelo objecto, propiciando o destacamento da camada superficial. Na **Figura 5.12**, é possível identificar a presença de serrim e galerias formadas pelo insecto ao longo do ciclo larvar. Na figura seguinte também é possível observar-se o estado avançado de degradação, principalmente na face orientada para Noroeste (NO).



Figura 5.12: Empolamento da superfície da Viga 8 do pavimento (Face orientada para Noroeste)

Na face orientada para Sudeste (SE) a ataque biológico está numa fase muito prematura, evidenciado poucos sinais da sua presença. A degradação por caruncho ronda 18,8% da secção transversal total da viga. Foi verificado *in situ*, que a viga encontra-se degradada em cerca de 6 e 18 milímetros na altura e largura, respectivamente (**Quadro 5.5**).

Quadro 5.5: Perda de secção da Viga 8 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Viga 8	Altura (m)	0,210	0,204	0,006	18,8%
	Largura (m)	0,110	0,092	0,018	
	Área (m ²)	0,023	0,019	0,004	

A Viga 8 apresenta um teor de água médio de 8,0%. Os orifícios de saída provocados por caruncho grande e pequeno são visíveis ao longo de todo o elemento de madeira e são apresentados na **Figura 5.13**.

Por se tratar de uma viga com elevada percentagem de degradação foi submetida a dois ensaios com Resistógrafo (apresentados a cor amarela) e dez de Pilodyn (apresentados a cor branca).



Figura 5.13: Orifícios de saída do caruncho pequeno e grande na Viga 8 do pavimento

Na Figura 5.14, apresenta-se a numeração e localização a realização dos ensaios.

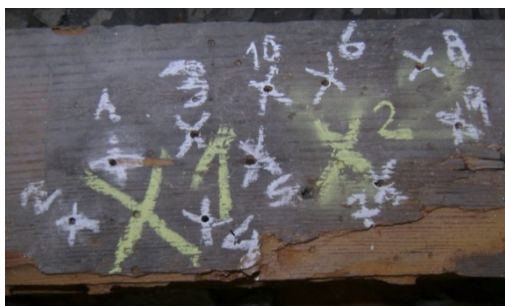


Figura 5.14: Localização dos ensaios realizados na Viga 8 do pavimento (Canto superior)

Na Figura 5.15, apresenta-se o perfil resistográfico R1 realizado na Viga 8. Neste perfil identificam-se duas zonas críticas: A e B. Tanto a região A como a B aparentam degradação por caruncho. A região A evidencia alguma perda de resistência junto à superfície da peça (8 milímetros), enquanto que a região B indica uma maior perda de resistência na zona inferior da viga (10 milímetros) tal como já tinha sido identificado pela inspeção visual. Isto deve-se essencialmente à possível existência de galerias internas provocadas pela larva na sua fase inclusa. O restante gráfico apresenta-se regular em toda a sua extensão.

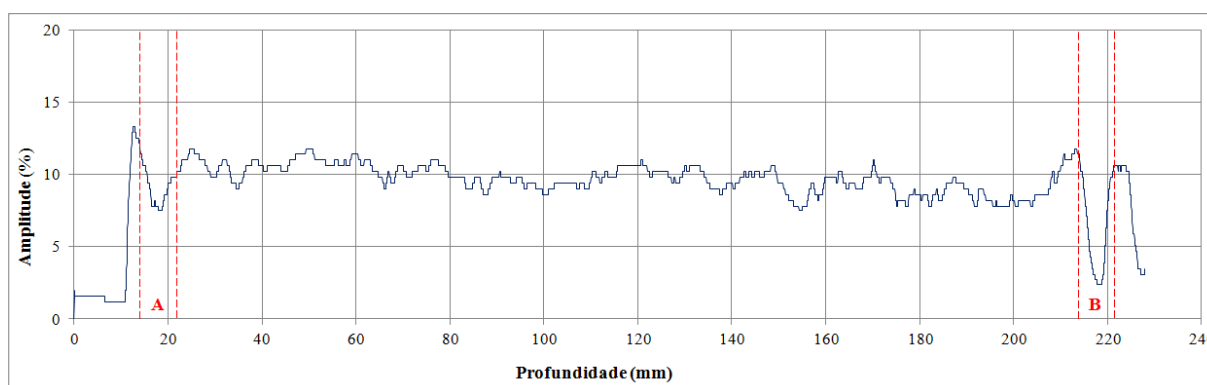


Figura 5.15: Perfil resistográfico R1 (Viga 8)

A Figura 5.16 corresponde ao segundo ensaio (R2) realizado com o Resistógrafo na viga 8. Este gráfico exibe algumas semelhanças com o anterior, apesar de só evidenciar perda de resistência na

zona inferior da peça (região C), tal como acontecia anteriormente na região B. Pelo traçado do gráfico supõem-se que a perda de secção também se deva a degradação por caruncho e com extensão de 6 milímetros.

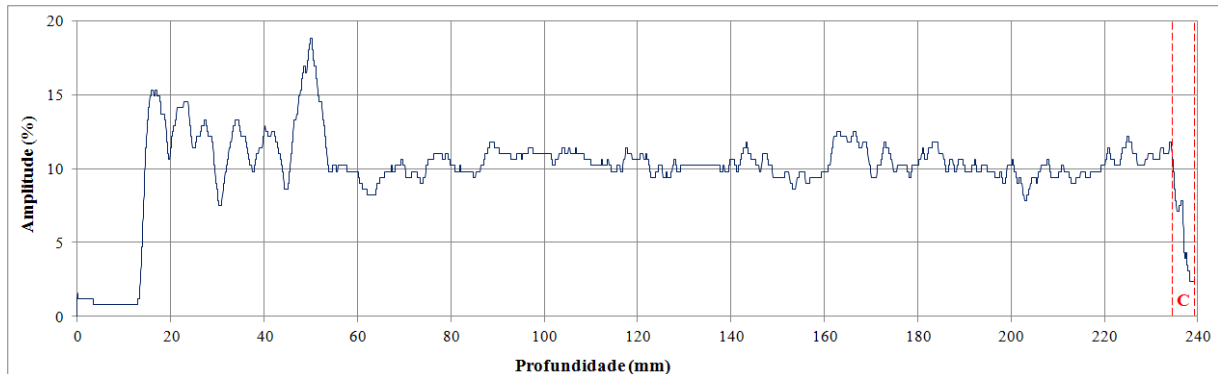


Figura 5.16: Perfil resistográfico R2 (Viga 8)

▪ **Viga 9**

A viga 9 apresenta uma ligeira degradação provocada por caruncho, apesar de não ser possível observar alterações ao nível do aspecto do elemento, possivelmente por se tratar de uma fase inicial do ataque. A degradação pode ser observada na face orientada para Noroeste (NO) e no canto superior, tal como se observa na **Figura 5.17**.



Figura 5.17: Aspecto de degradação da Viga 9 do pavimento (Face orientada para Noroeste)

Nesta viga não foi possível identificar a presença de orifícios de saída, o que confirma novamente o estado inicial da degradação. Assim, não é possível a identificação do tipo de caruncho presente.

No **Quadro 5.6**, apresentam-se os dados relativos à percentagem de madeira consumida pelos agentes xilófagos. Pode-se concluir que a secção transversal da viga diminuiu em cerca de 9%, correspondendo

a uma redução de 3 milímetros em altura e 7 milímetros em largura. Devido à fraca representatividade da degradação, este elemento não foi sujeito a ensaios não destrutivos (Resistógrafo e Pilodyn). A viga apresenta um teor de água de aproximadamente 8,0%, valor medido com o auxílio do Humidímetro.

Quadro 5.6: Perda de secção da Viga 9 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Viga 9	Altura (m)	0,220	0,217	0,003	9,0%
	Largura (m)	0,090	0,083	0,007	
	Área (m ²)	0,020	0,018	0,002	

▪ **Viga 10**

Tal como na viga anterior, a viga 10 apresenta uma ligeira degradação por caruncho, que devido à pouca presença de sinais de degradação admite-se que se encontra em fase inicial. Na **Figura 5.18**, apresenta-se o aspecto de degradação da face orientada para Sudeste (SE) e canto superior da viga 10, evidencia-se um pequeno empolamento e presença de serrim no canto superior do elemento.



Figura 5.18: Aspecto de degradação da Viga 10 do pavimento (Face orientada para Sudeste)

Na face degradada, a peça sofreu uma perda de 2,0% da área em relação à secção inicial (**Quadro 5.7**), que corresponde a 2 e 1 milímetros em altura e largura, respectivamente. O teor de água do elemento ronda os 8,0%.

Quadro 5.7: Perda de secção da Viga 10 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Viga 10	Altura (m)	0,220	0,218	0,002	2,0%
	Largura (m)	0,090	0,089	0,001	
	Área (m ²)	0,020	0,019	0,0004	

▪ **Viga 11**

Na metodologia de inspeção visual, verificou-se que a face orientada para Noroeste (NO) da viga 11 evidencia sinais de empolamento, destacamento da superfície e indícios de presença de serrim, o que indica a degradação por caruncho (**Figura 5.19**). Não foram identificados orifícios de saída ao longo de toda a extensão do elemento. Porém, como a face se encontra muito degradada, a identificação dos orifícios de saída é dificultada, podendo estes estarem camuflados.



Figura 5.19: Aspecto de degradação e empolamento da superfície da Viga 11 do pavimento (Face orientada para Noroeste)

Em termos de perda de secção devido ao ataque por caruncho, segundo o **Quadro 5.8**, registou-se uma redução de cerca de 8,2%, que corresponde a 7 milímetros em largura. O teor de água médio do elemento é de 10,7%.

Quadro 5.8: Perda de secção da Viga 11 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Viga 11	Altura (m)	0,210	0,210	0,000	8,2%
	Largura (m)	0,085	0,078	0,007	
	Área (m ²)	0,018	0,016	0,002	

▪ **Viga 13**

De forma semelhante à viga anterior, verifica-se o enrugamento da superfície da face, seguido do empolamento em alguns locais que permite a identificação de uma fina camada de serrim provocada pelo ataque por caruncho. Porém nesta viga, a degradação dá-se na face orientada para Sudeste (SE) e no canto superior. Como se pode observar em pormenor na **Figura 5.20**, a degradação intensifica-se na zona inferior da viga, provocando nesta região o destacamento da película superficial da madeira.

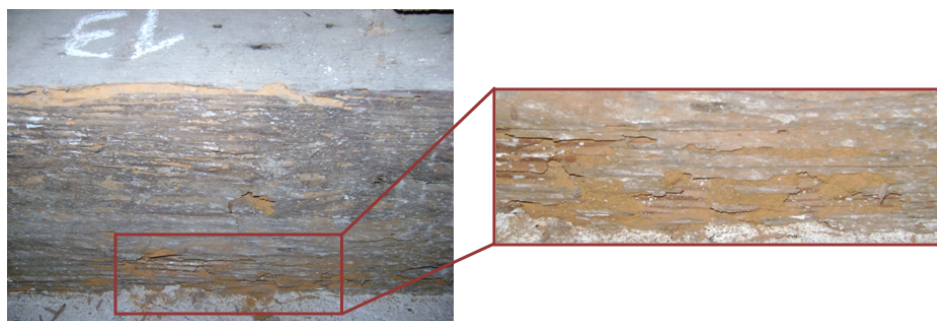


Figura 5.20: Aspecto de degradação da Viga 13 do pavimento (Face orientada para Sudeste)

No **Quadro 5.9**, apresenta-se a relação entre a secção inicial e actual da viga em estudo, concluindo-se que existe uma perda que chega aos 8,9%, que corresponde a 10 milímetros em largura. Nas medições do teor de água com o Humidímetro, registou-se um valor médio de 10%.

Quadro 5.9: Perda de secção da Viga 13 do pavimento

Pavimento	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Perda de secção	Perda de secção
Viga 13	Altura (m)	0,210	0,210	0,000	8,9%
	Largura (m)	0,112	0,102	0,010	
	Área (m ²)	0,024	0,021	0,002	

Por se tratar de uma peça com um nível de degradação avançado e conseqüentemente bastante visível e evidente, a viga foi sujeita a ensaios com o Resistógrafo e Pilodyn. Na **Figura 5.21**, apresenta-se a numeração e localização dos ensaios realizados, em que a amarelo identifica-se o local dos ensaios com o Resistógrafo (R3 e R4) e a branco os dez ensaios com o Pilodyn.



Figura 5.21: Localização dos ensaios realizados na Viga 13 do pavimento (Canto superior)

Seguidamente apresentam-se os perfis resistográficos obtidos com os dois ensaios (R3 e R4). Ao analisar-se o primeiro perfil (**Figura 5.22**) identifica-se perda de resistência na zona inferior da viga (região A) com um comprimento de aproximadamente 6 milímetros, tal como já tinha sido identificado durante a inspeção visual. A perda de resistência poderá ser devido à presença de galerias internas originadas pelo caruncho.

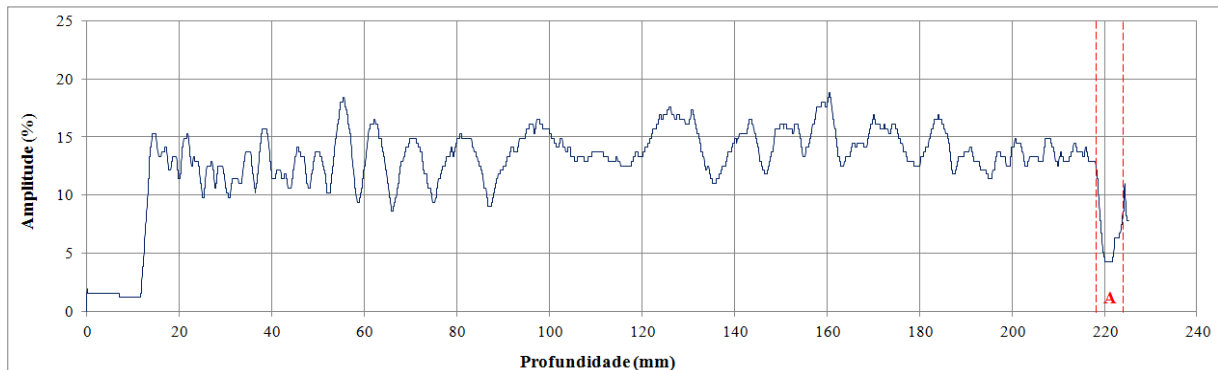


Figura 5.22: Perfil resistográfico R3 (Viga 13)

No perfil resistográfico que se segue (**Figura 5.23**), não se verifica a presença de degradação. À semelhança do anterior, exceptuando a presença de degradação, o perfil é regular e tem elevada resistência à perfuração pela broca.

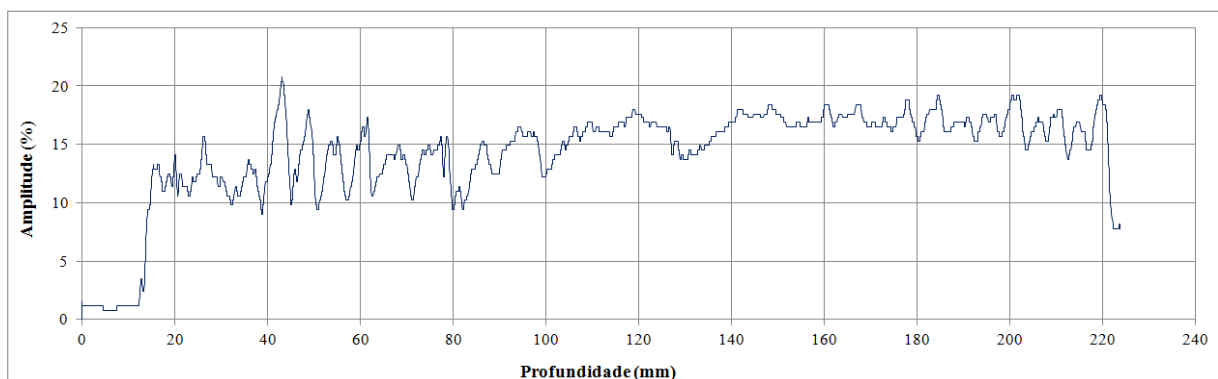


Figura 5.23: Perfil resistográfico R4 (Viga 13)

5.3.2. Cobertura (arrumos)

A zona de cobertura dos arrumos analisada foi limitada inicialmente, visto que a elaboração do estudo não poderia englobar a totalidade da cobertura. Tal como já foi mencionado no **Capítulo 4.2.2**, trata-se de um local sem luz natural e de pequenas dimensões, características que dificultaram a inspeção e diagnóstico, principalmente a utilização dos equipamentos de ensaio, nomeadamente o Resistógrafo.

De acordo com a norma EN335-2:2006, a cobertura dos arrumos insere-se na Classe de risco 2, porque apesar de se tratar de uma estrutura interior sem contacto com o solo pode estar ocasionalmente sujeita a humedificação, devido a danos na sua estrutura superior como por exemplo: telhas partidas. À semelhança da Classe 1, esta classe também apresenta susceptibilidade ao ataque de caruncho. Contudo, como o teor de água (ocasionalmente superior a 20%) se apresenta mais elevado, o material também fica susceptível ao ataque por térmitas subterrâneas e podridão castanha.

No caso em estudo, identificaram-se algumas manchas de humedificação (facto apresentado ao longo do desenvolvimento do capítulo), degradação por caruncho grande (*Hylotrupes bajulus*) e pequeno (*Anobium Punctatum*) e por térmitas (*Reticulitermes lucífugos Rossi.*) na maioria dos elementos avaliados, nomeadamente: 1, 2 e 4. No **Quadro 5.10** apresenta-se um resumo da degradação presente em cada elemento. Na peça desenhada III é apresentada a vista geral e planta da zona em estudo.

Quadro 5.10: Degradação biológica da cobertura dos arrumos

Localização	Degradação biológica	
	Elemento	Agente biológico
Cobertura (arrumos)	1	Caruncho (grande e pequeno) e térmitas
	2	Caruncho (grande e pequeno)
	4	Caruncho pequeno e térmitas

No **Quadro 5.11**, estão registadas as medições de teor de água dos elementos da cobertura dos arrumos.

Quadro 5.11: Medições do teor de água da cobertura dos arrumos

Elemento	Medições do Teor de água (%)			Média (%)
1	10,0	12,0	12,0	11,3
2	12,0	14,0	12,0	12,7
3	10,0	14,0	12,0	12,0
4	12,0	14,0	16,0	14,0
Valor médio do teor de água da cobertura dos arrumos				12,5

A generalidade dos elementos da cobertura apresenta alguma sujidade, factor que não deve ser equiparado a existência de degradação. Isto significa que antes da avaliação dos diversos elementos, estes devem ser sujeitos a uma breve limpeza para possibilitar a inspeção pormenorizada do local.

▪ **Elemento 1**

A inspeção do Elemento 1 permitiu a identificação de degradação por térmitas e caruncho no canto inferior da peça. A degradação por térmitas pode ser observada na **Figura 5.24**, devido à presença de partículas terrosas e aspecto laminado provocado pelo consumo dos anéis de Primavera realizado pelo agente degradador.



Figura 5.24: Aspecto de degradação do Elemento 1 da cobertura dos arrumos (Canto inferior) e orifícios de saída do caruncho pequeno e grande

Por outro lado, verifica-se a presença de orifícios de saída na face orientada para Noroeste, o que indica o ataque por caruncho. Tendo em conta o diâmetro dos orifícios, é provável que se trate de caruncho grande e pequeno. Apesar da presença dos dois agentes de degradação, o principal agente responsável pela danificação do elemento são as térmitas.

A degradação por térmitas e caruncho provocou a perda de 14 milímetros em altura, que corresponde a 8,8% da secção inicial da peça (**Quadro 5.12**).

Quadro 5.12: Perda de secção do Elemento 1 da cobertura dos arrumos

Cobertura (arrumos)	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Elemento 1	Altura (m)	0,159	0,145	0,014	8,8%
	Largura (m)	0,050	0,050	0,000	
	Área (m ²)	0,008	0,007	0,001	

Na medição do teor de água foi registada uma média de 11,3% neste elemento.

Na **Figura 5.25**, observa-se a numeração dos ensaios realizados, sendo que R2 corresponde ao ensaio com o Resistógrafo e a restante numeração (de 6 a 10) refere-se ao Pilodyn. Na figura também é possível observar alguns indícios de humidificação presentes nos elementos da cobertura. O ensaio com o Resistógrafo foi realizado na face orientada para Sudeste. O perfil resistográfico obtido apresenta-se na **Figura 5.26**.

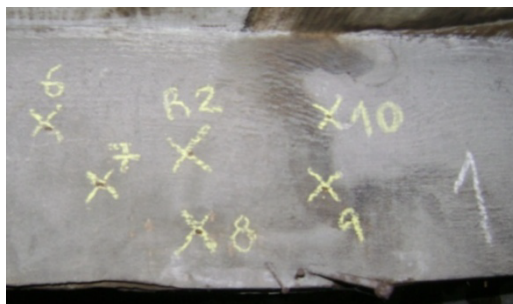


Figura 5.25: Localização dos ensaios realizados no Elemento 1 da cobertura dos arrumos (Face orientada para Sudeste)

Na análise do perfil resistográfico não se observa a presença de degradação, até porque se verifica alguma uniformidade ao longo do mesmo. É importante salientar que o ensaio foi realizado num local onde apenas existe degradação por caruncho, apesar de esta não ser evidente no gráfico.

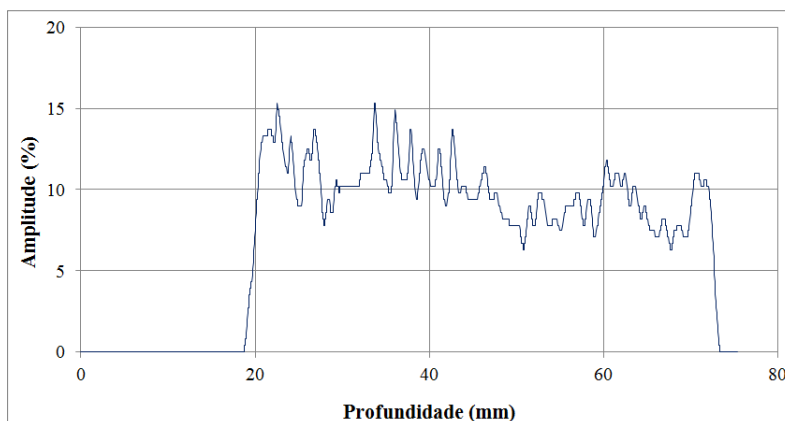


Figura 5.26: Perfil resistográfico R2 (Elemento 1)

▪ **Elemento 2**

Tal como no elemento anterior, o elemento 2 apresenta degradação apenas no canto inferior (**Figura 5.27**). Neste caso, trata-se de ataque por caruncho grande e pequeno. A degradação pode ser identificada através da observação de montículos de serrim presentes ao longo de toda a extensão da peça. O serrim encontra-se nas proximidades de orifícios de saída, mas não se verifica o empolamento da superfície.



Figura 5.27: Aspecto de degradação do Elemento 2 da cobertura dos arrumos (Canto inferior) e orifício de saída do caruncho grande

Com recurso à lâmina metálica, estimou-se uma perda de secção de cerca de 5%, correspondente a uma redução de 7 milímetros em altura (**Quadro 5.13**). O elemento construtivo apresenta um teor médio de água de 12,7%.

Quadro 5.13: Perda de secção do Elemento 2 da cobertura dos arrumos

Cobertura (arrumos)	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Elemento 2	Altura (m)	0,140	0,133	0,007	5,0%
	Largura (m)	0,110	0,110	0,000	
	Área (m ²)	0,0154	0,0146	0,0008	

▪ **Elemento 3**

O elemento 3 apresenta alguns indícios de humedificação, facto verificado na **Figura 5.28**. Ao contrário dos restantes elementos da cobertura dos arrumos, a peça em análise não se encontra degradada. O teor de água médio da peça é cerca de 12,0%, o que indica encontrar-se actualmente seca. Ainda assim, foram realizados ensaios não destrutivos neste elemento para poder comparar parâmetros, tal como a resistência à perfuração, com os restantes elementos degradados.



Figura 5.28: Sinais de humedificação anterior no Elemento 3 da cobertura dos arrumos

Na **Figura 5.29**, está presente a localização e numeração dos ensaios realizados, em que R1 corresponde ao ensaio com o Resistógrafo e a restante enumeração relaciona-se com os ensaios de Pilodyn. O ensaio resistográfico foi realizado no canto inferior da peça, sendo que o gráfico obtido está presente na **Figura 5.30**.



Figura 5.29: Localização dos ensaios realizados no Elemento 3 da cobertura dos arrumos (Canto inferior)

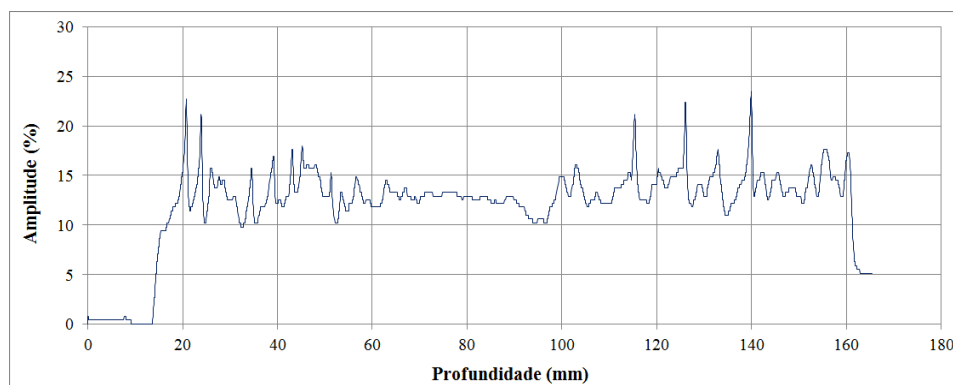


Figura 5.30: Perfil resistográfico R1 (Elemento 3)

- **Elemento 4**

À semelhança do que se verificou no elemento 1 da mesma zona, este elemento apresenta degradação por térmitas e caruncho, apesar de que nesta peça apenas se identifica caruncho pequeno devido às características circulares dos orifícios de saída percebidos (**Figura 5.31**). A degradação está presente apenas no canto inferior, verificando-se algum destacamento de partes do elemento devido à intensa degradação provocada pelas térmitas, visto que o este agente se alimenta da própria celulose da madeira. No local não foi registada a presença de enxameações, factor muitas vezes associado à presença de térmitas, nem das próprias térmitas vivas no interior da madeira.



Figura 5.31: Aspecto e pormenor de degradação do Elemento 4 da cobertura dos arrumos (Canto inferior)

Antes da realização de ensaios, estimou-se a redução de secção e conclui-se que ronda os 12,8%, o que significa que o elemento perdeu 19 milímetros da sua altura total (**Quadro 5.14**). O elemento apresenta um teor de água médio de 14%.

Quadro 5.14: Perda de secção do Elemento 4 da cobertura dos arrumos

Cobertura (arrumos)	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Elemento 4	Altura (m)	0,149	0,130	0,019	12,8%
	Largura (m)	0,046	0,046	0,000	
	Área (m ²)	0,007	0,006	0,001	

Esta peça foi submetida aos mesmos ensaios já referidos ao longo do capítulo. O ensaio resistográfico foi realizado na face da peça orientada para Sudeste. Inicialmente, pensou-se em realizar o ensaio no canto inferior fortemente degradado, porém, tal não foi possível para evitar a rotura parcial da peça. Isto porque, durante a realização dos ensaios de Pilodyn, observou-se alguma fragilidade do elemento aquando o impacto provocado pela penetração do pino metálico.

A **Figura 5.32** apresenta a localização e numeração do ensaio resistográfico (R3) e Pilodyn (11 a 15).



Figura 5.32: Localização dos ensaios realizados no Elemento 4 da cobertura dos arrumos (Face orientada para Sudeste)

O perfil resistográfico obtido encontra-se apresentado na **Figura 5.33**. O gráfico indica a perda total de resistência na região A provavelmente devido à ausência de material consumido pelas térmitas. A perda de secção dá-se na zona oposta à face visível na figura anterior, local não acessível porque o elemento se encontra encostado ao paramento vertical existente no local. Estima-se que a degradação se dê nos últimos 23 milímetros da peça.

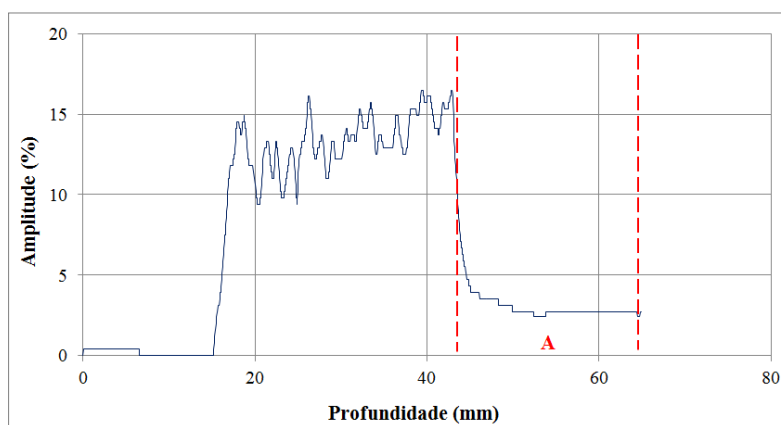


Figura 5.33: Perfil resistográfico R3 (Elemento 4)

5.3.3. Cobertura (lanternim)

Tal como foi referido para a cobertura dos arrumos, nesta zona a área de intervenção foi limitada a cinco dos elementos estruturais existentes no local. Por se tratar de cobertura de lanternim, o local apresenta boa iluminação e é razoavelmente espaçoso, o que facilita toda a metodologia de inspeção.

Não foram identificados indícios da presença de humedificação, como por exemplo manchas nas peças ou água nas imediações da zona de estudo. Porém, ainda assim é prudente considerar que a zona se insere na Classe de risco 2, pelas mesmas razões já descritas no tópico anterior (cobertura dos arrumos). Em suma, devido às características do local, os elementos de madeira apresentam susceptibilidade a degradação biológica por caruncho, térmitas e podridão castanha.

O teor de água médio de cada elemento da zona em análise é apresentado no **Quadro 5.15**.

Quadro 5.15: Medições do teor de água da cobertura do lanternim

Elemento	Medições do Teor de água (%)			Média (%)
1	8,0	6,0	6,0	6,7
2	8,0	8,0	8,0	8,0
3	8,0	8,0	10,0	8,7
4	8,0	8,0	8,0	8,0
5	12,0	12,0	10,0	11,3
Valor médio do teor de água da cobertura do lanternim				8,5

Neste local apenas o elemento 1 e 5 apresentam degradação, razão pela qual serão analisados com maior detalhe (**Quadro 5.16**). A degradação biológica presente no local deve-se ao ataque por caruncho grande (*Hylotrupes bajulus*) e pequeno (*Anobium Punctatum*) e a fungo de podridão. Na peça desenhada IV é apresentada a vista geral e planta da zona em estudo.

Quadro 5.16: Degradação biológica da cobertura do lanternim

Localização	Degradação biológica	
	Elemento	Agente biológico
Cobertura (lanternim)	1	Caruncho (grande e pequeno)
	5	Caruncho pequeno e fungo podridão

▪ **Elemento 1**

O elemento 1 apresenta aspecto enrugado e início de empolamento do material. Observa-se a presença de uma camada de serrim no interior da película superficial da peça. A degradação dá-se essencialmente nas faces orientadas para Sudeste (SE) e Noroeste (NO), tal como se pode constatar na **Figura 5.34**.



Figura 5.34: Aspecto de degradação do Elemento 1 da cobertura do lanternim (Face orientada Sudeste e Nordeste)

Pelas características presentes no local, conclui-se que se trata de degradação biológica por caruncho, facto que pode ser confirmado pela identificação de orifícios de saída de geometria oval e circular, aspecto característico de caruncho grande e pequeno (**Figura 5.35**).



Figura 5.35: Orifícios de saída do caruncho grande no Elemento 1 da cobertura do lanternim

Após uma análise mais pormenorizada, concluiu-se que a peça perdeu cerca de 7,3% de área em relação à secção inicial, mais particularmente 6 e 4 milímetros em altura e largura, respectivamente (**Quadro 5.17**). Em termos de teor de água, este elemento apresenta cerca de 6,7%.

Quadro 5.17: Perda de secção do Elemento 1 da cobertura do lanternim

Cobertura (lanternim)	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Elemento 1	Altura (m)	0,160	0,154	0,006	7,3%
	Largura	0,110	0,106	0,004	
	Área (m ²)	0,0176	0,0163	0,0013	

Na **Figura 5.36** apresenta-se a localização dos ensaios, em que R2 corresponde ao ensaio resistográfico realizado na face orientada para Noroeste e a numeração restante associa-se aos ensaios com o Pilodyn.



Figura 5.36: Localização dos ensaios realizados no Elemento 1 da cobertura do lanternim (Face orientada para Noroeste)

O perfil resistográfico indica precisamente o já verificado com a inspeção visual, a região superficial da madeira (zona A) apresenta uma resistência mais baixa devido à degradação provocada pelo caruncho (**Figura 5.37**). A região A ocupa cerca de 11 milímetros iniciais do perfil, sendo que o restante perfil apresenta-se com alguma regularidade.

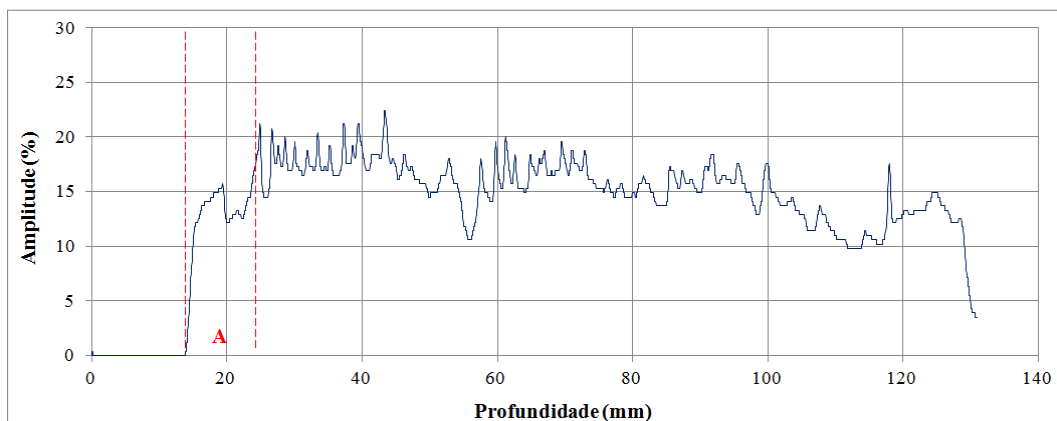


Figura 5.37: Perfil resistográfico R2 (Elemento 1)

▪ **Elemento 4**

O elemento 4 não apresenta sinais indicativos da presença de degradação biológica. Porém, tal como nas duas zonas anteriores, realizaram-se ensaios num dos elementos sãos. Na **Figura 5.38**, está representada a localização dos ensaios em que R4 corresponde ao ensaio resistográfico e a numeração de 16 a 20 está relacionada com os ensaios de Pilodyn. A peça em análise apresenta um teor de água médio de 8,0%.



Figura 5.38: Localização dos ensaios realizados no Elemento 4 da cobertura do lanternim (Face orientada para Sudeste)

Os ensaios foram executados no canto orientado para Sudeste e o perfil resistográfico obtido está presente na **Figura 5.39**. O perfil apresenta uma zona inicial bastante irregular caracterizada com a grande alternância entre picos de alta e baixa resistência (região A), que ocupa cerca de 61 milímetros. Na inspeção visual não foi possível identificar a razão para o perfil obtido, tais como: degradação biológica ou outros defeitos (fendas). As causas poderão estar associadas à própria constituição do material lenhoso, como por exemplo: anéis largos provocados pelo rápido crescimento da árvore ou defeitos internos da peça impossíveis de ser identificados com o tipo de análise realizada *in situ*.

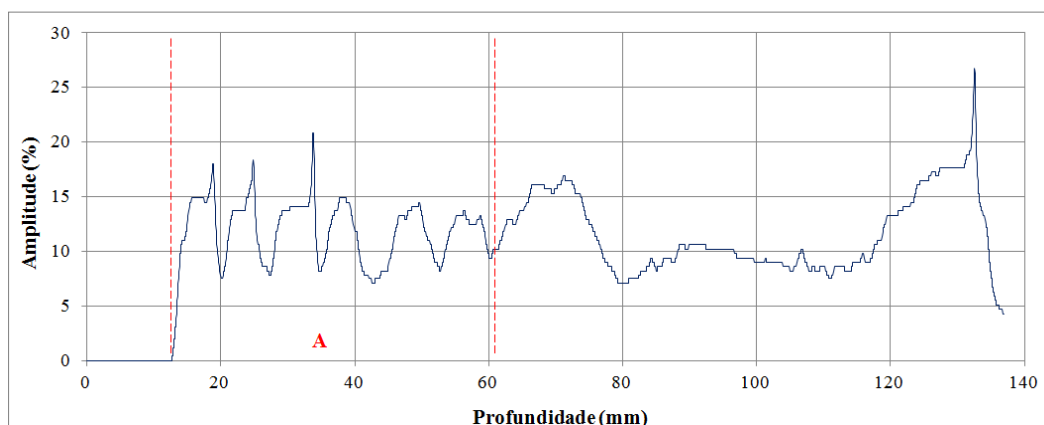


Figura 5.39: Perfil resistográfico R4 (Elemento 4)

▪ **Elemento 5**

O elemento 5 é horizontal e tem a função de travar o pendural e a escora. Na **Figura 5.40**, verifica-se a presença de uma anomalia na constituição da peça. Pensa-se que se trata de um defeito originado por um impacto mecânico ou provavelmente o corte de parte da secção para o seu aproveitamento nouro local.

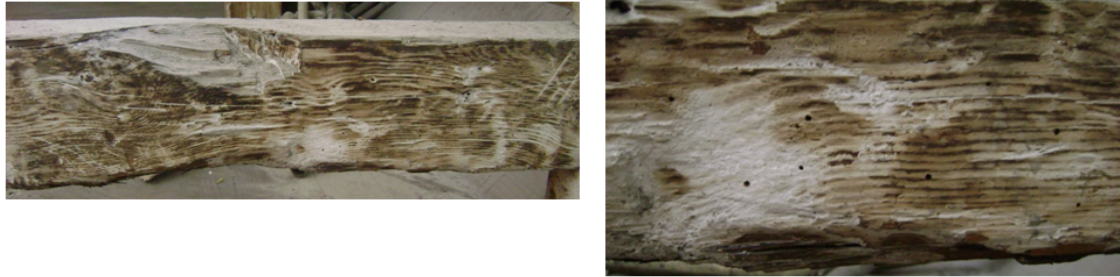


Figura 5.40: Aspecto de degradação do Elemento 5 da cobertura do lanternim (Face orientada para Nordeste) e orifícios de saída do caruncho grande

Na figura anterior, pode-se ainda observar a presença de degradação por caruncho na face orientada para Nordeste (NE), através da identificação de orifícios de saída, que pelas reduzidas dimensões, se deve tratar de caruncho pequeno. Para além desta característica, por inspecção visual verifica-se que a superfície se encontra pouco degradada, isto porque a superfície não se encontra muito alterada e apenas se verifica alguns sinais da presença de serrim. A degradação dá-se essencialmente na Face orientada para Noroeste.

Porém, ao analisar-se o canto inferior da peça verificou-se a degradação por fungos. Supõem-se que se trate de podridão branca devido ao aspecto fibroso com fendas transversais da superfície, provocado pelo consumo da lenhina da madeira (**Figura 5.41**).



Figura 5.41: Pormenor de degradação do Elemento 5 da cobertura do lanternim (Canto inferior)

O teor de água da madeira apresenta-se relativamente baixo (cerca de 14%), é inferior ao teor de água mínimo característico da instalação de fungos de podridão e não se identifica a presença de indícios de

fontes de humedificação no local. Assim, é provável que o fungo se tenha instalado numa dada altura em que as condições higrotérmicas se revelaram propícias para o seu desenvolvimento.

No **Quadro 5.18**, apresenta-se a perda de secção devido à existência de degradação. Neste caso, verificou-se redução de 5 milímetros em altura, que corresponde a 3,3% da área da secção inicial.

Quadro 5.18: Perda de secção do Elemento 5 da cobertura do lanternim

Cobertura (lanternim)	Dimensões	Secção inicial	Secção actual	Redução de secção	Perda de secção
Elemento 5	Altura (m)	0,152	0,147	0,005	3,3%
	Largura (m)	0,094	0,094	0,000	
	Área (m ²)	0,014	0,014	0,000	

Este elemento foi sujeito a dois ensaios com o Resistógrafo: no canto superior (R1) e outro na face orientada para Nordeste (R3). A cada ensaio resistográfico está associado cinco ensaios com o Pilodyn, que neste caso estão numerados de 1 a 5 para o ensaio R1 e de 11 a 15 para o ensaio R3. Na **Figura 5.42**, apresenta-se a localização e numeração dos ensaios executados na peça.

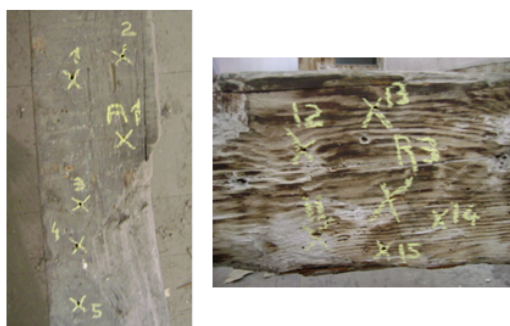


Figura 5.42: Localização dos ensaios realizados no Elemento 5 da cobertura do lanternim (Canto superior e Face orientada para Nordeste)

O perfil resistográfico apresentado na **Figura 5.43** é referente ao ensaio R1. Verifica-se a existência de duas regiões de baixa resistência (A e B), que poderá estar associada a presença de degradação. Verifica-se que a zona A (5 milímetros) assemelha-se a perda de resistência devido a degradação por caruncho, enquanto que a zona B coincide com o local de instalação do fungo de podridão branca (10 milímetros).

O perfil resistográfico R3 (**Figura 5.44**) revela a presença de uma zona (C) com resistência inferior à média do traçado. A zona em causa trata-se da face com orifícios de saída, o que pode indicar a existência de galerias internas e consequentemente a perda de material e de resistência à perfuração em cerca de 17 milímetros.

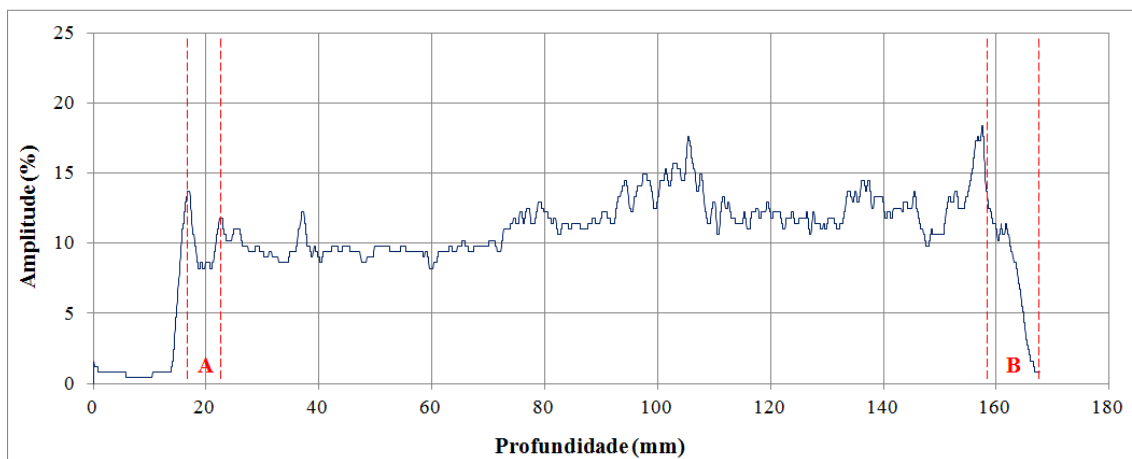


Figura 5.43: Perfil resistográfico R1 (Elemento 5)

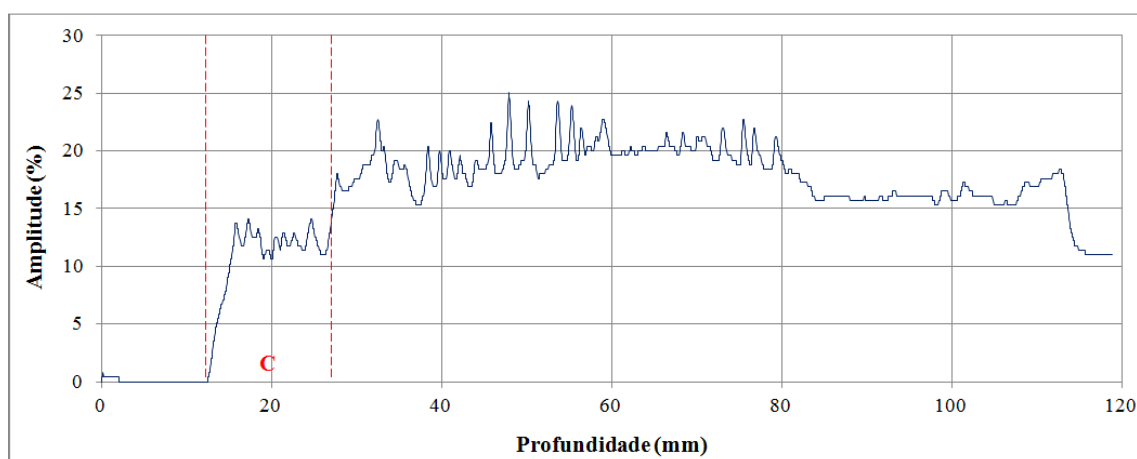


Figura 5.44: Perfil resistográfico R3 (Elemento 5)

5.3.4. Conclusões

A metodologia adoptada para a inspeção e diagnóstico dos três locais, permitiu a elaboração de algumas conclusões sobre o estado de conservação da estrutura. Sabe-se que se trata de uma estrutura com cerca de 136 anos e por isso muito antiga, o que requer um nível de atenção superior.

O pavimento não apresenta elevada percentagem de degradação. Tendo em conta a Classe de risco em que se insere (2), já se esperava a degradação por caruncho. Contudo, a degradação apenas é visível em alguns dos elementos, destacando-se a viga 8 em que se verificou a maior perda de secção útil (18,8%).

Em relação à cobertura dos arrumos, é o local que aparentemente suscita maior intensidade de degradação. Verificou-se a presença de degradação por térmitas e caruncho grande e pequeno, sendo que a degradação se torna mais visível devido ao elevado consumo de madeira pelas térmitas. Entre os elementos analisados, o elemento 4 destaca-se por registar a maior perda de secção que ronda os 12,8%.

Na cobertura do lanternim, apenas dois dos elementos se encontram degradados. A degradação dá-se essencialmente por caruncho e numa das peças também por fungo de podridão branca. O elemento mais degradado (1) revela uma diminuição de área de 14,2% em relação à secção inicial.

Associada à degradação por caruncho, em cada uma das três zonas analisadas, foram medidos os diâmetros dos orifícios de saída presentes nos diversos elementos (**Quadro 5.19**).

Quadro 5.19: Diâmetro médio dos orifícios de saída

Diâmetro médio dos orifícios de saída	Caruncho pequeno (mm)	Caruncho grande (mm)
Pavimento	2	9
Cobertura (lanternim)	2	6
Cobertura (arrumos)	2	8

Pelas dimensões presentes no quadro anterior, pode supor-se que nos três locais existe degradação pelas duas espécies de caruncho: pequeno e grande.

Um dos factores que pode facilitar a instalação de agentes de degradação biológica é o teor de água. Assim, tal como já foi referido no capítulo anterior, cada elemento foi sujeito a três medições para a obtenção da média do teor de água das peças em avaliação, que resultou numa média de 9,2% para o pavimento, 12,5% para a cobertura dos arrumos e 8,5% para a cobertura do lanternim. Verifica-se que a cobertura dos arrumos tem um teor de água ligeiramente superior em comparação com os outros dois locais, facto que pode explicado pela presença de indícios de humedificação na zona. O aumento do teor de água propicia o aparecimento de degradação por térmitas, que é o caso da cobertura dos

arrumos, apesar do teor de água existente não ser o mais adequado para o seu desenvolvimento. O pavimento e cobertura do lanternim são locais arejados e com elevada exposição solar, razão pela qual apresentam um teor de água relativamente baixo.

A partir das correlações apresentadas no **Capítulo 5.2.2** e ensaios realizados, obteve-se a massa volúmica para cada elemento dos três locais estudados. No **Quadro 5.20**, observa-se a massa volúmica média de cada local em função dos resultados obtidos com o ensaio de Pilodyn. Pela análise dos resultados, conclui-se que a massa volúmica dos três locais se localiza entre 481,61 kg/m³ e 520,61 kg/m³, o que corresponde a uma média de cerca de 500 kg/m³.

Quadro 5.20: Massa volúmica obtida a partir da correlação com o ensaio Pilodyn

Localização	Elemento	Média Pilodyn (mm)	Massa Volúmica kg/m ³ (Correlação com Pilodyn)	Média da Massa Volúmica kg/m ³ (Correlação com Pilodyn)
Pavimento	6	17,2	507,79	481,61
	8	18,5	467,72	
	13	18,4	469,33	
Cobertura (arrumos)	1	18,4	469,33	482,15
	3	17,2	507,79	
	4	18,4	469,33	
Cobertura (lanternim)	1	16,4	533,43	520,61
	4	16,0	546,25	
	5	18,0	482,15	

Ainda relacionado com o quadro anterior, é possível concluir que a profundidade à penetração na cobertura do lanternim é inferior quando comparada com as outras duas zonas. Ainda assim, é importante referir que o Pilodyn se trata de um ensaio de carácter localizado, o que nem sempre uma maior profundidade de penetração pode estar relacionada a uma menor resistência. Isto porque, para além do ensaio se cingir apenas ao material superficial da peça, depende das condições do local em que é realizado. Contudo, existe alguma diferença entre os locais, sendo que o pavimento e a cobertura dos arrumos apresentam uma profundidade de penetração média de 18,0 milímetros enquanto que a cobertura do lanternim apresenta 16,8 milímetros de profundidade de penetração. No **Anexo 5.A do Capítulo 5**, estão presentes todos os resultados dos ensaios com o Pilodyn para o pavimento, a cobertura dos arrumos e do lanternim.

Para comparar com os resultados do quadro anterior, foi também calculada a massa volúmica dos elementos dos três locais em função da medida resistográfica (MR), dados presentes no **Quadro 5.21**.

Numa primeira análise, verifica-se que a cobertura do lanternim tem o maior valor de medida resistográfica, que ronda os 14,15 %. Por outro lado, é a cobertura dos arrumos que apresenta o valor

de resistência mais reduzido, sendo cerca de 12,16%. Isto pode indicar que a madeira cuja medida resistográfica é superior, oferece mais resistência à perfuração da broca do aparelho resistográfico, isto porque apresenta massa volúmica superior. Ainda assim, a média da medida resistográfica obtida para cada uma das zonas estudadas é semelhante, variando apenas entre 12 e 14% de amplitude.

Quadro 5.21: Massa volúmica obtida a partir da correlação com o ensaio Resistográfico

Localização	Elemento	Numeração dos ensaios Resistógrafo	MR	Média da MR	Massa Volúmica kg/m ³ (Correlação com Resistógrafo)	Média da Massa Volúmica kg/m ³ (Correlação com Resistógrafo)
Pavimento	8	R1	9,68	13,01	505,79	622,23
		R2	11,04		553,18	
	13	R3	13,72		647,03	
		R4	15,21		699,02	
	6	R5	15,41		706,12	
Cobertura (arrumos)	3	R1	13,43	12,16	636,81	592,50
	1	R2	9,85		511,69	
	4	R3	13,21		628,98	
Cobertura (lanternim)	5	R1	11,36	14,15	564,29	661,84
	1	R2	15,37		704,74	
	5	R3	18,28		806,45	
	4	R4	11,57		571,89	

Tal como o Pilodyn, o Resistógrafo é um ensaio local, apesar que ao contrário do primeiro percorre toda a secção da peça, facultando informações sobre a resistência à perfuração de todos os pontos da secção escolhida.

Em relação à massa volúmica calculada a partir da correlação com a medida resistográfica, obtiveram-se valores entre 592,50 kg/m³ e 661,84 kg/m³. Os resultados obtidos são superiores aos registados com os dados do ensaio com Pilodyn. Porém, é de salientar que, tal como já referido, a informação fornecida pelo ensaio de Resistógrafo é mais completa e complexa e por esta razão torna-se mais fiável em termos de obtenção de resultados. Contudo englobando ambos os ensaios, pondera-se que a massa volúmica da madeira utilizada nos locais assinalados se encontra entre 500 e 600 kg/m³. Os valores obtidos encontram-se enquadrados nas massas volúmicas da madeira de Pinho Bravo e Casquinha (Scots pine) mencionadas no **Quadro 5.22**.

Quadro 5.22: Massa volúmica da madeira de Pinho Bravo e Casquinha (LNEC,1963; LNEC, 1997 citando Tsoumis, 1991)

Designação (Espécie)		Massa volúmica (kg/m ³)
Pinho bravo (<i>Pinus pinaster</i> , Ait.)		530 - 600
Casquinha	(<i>Pinus sylvestris</i> , L.) – Redwood	400
	(<i>Pinus sylvestris</i> , L.) – Scots pine	530

Analisando a totalidade dos resultados relativos à estimação da massa volúmica, admite-se um valor médio médio de 552 kg/m³ para o pavimento, de 537 kg/m³ para a cobertura dos arrumos e de 591 kg/m³ para a cobertura do lanternim. Face ao presente no **Quadro 5.22**, admite-se haver uma grande probabilidade da madeira da estrutura do lanternim ser de Pinho bravo e as restantes poderem ser de Pinho bravo ou de Casquinha Scots pine.

Após a análise de todos os resultados apresentados anteriormente, pode-se concluir que as zonas analisadas registam um nível de degradação pouco avançado, o que significa que a maioria das peças apresentam-se sãs em termos de degradação biológica.

Existem duas situações que merecem alguma atenção, nomeadamente: a viga 8 do pavimento e o elemento 4 da cobertura dos arrumos. No caso da viga 8, a degradação por caruncho dá-se num local próximo da fachada (orientada para Sudoeste), ou seja, na ligação entre o pavimento e a parede de frontal. Caso a degradação se propague e a ligação seja degradada, a viga pode perder a sua capacidade estrutural devido à diminuição da sua secção resistente, dando-se o colapso parcial do pavimento, podendo colocar a segurança da estrutura e dos ocupantes em risco. Trata-se de uma das vigas mais importantes do pavimento, até porque é uma das vigas de maior comprimento e localiza-se no centro da divisão.

No caso do elemento 4 da cobertura dos arrumos, a degradação dá-se essencialmente devido às térmitas e caruncho. Visto que o teor de água das peças da cobertura dos arrumos se encontra inferior a 20%, o ataque provocado pelas térmitas subterrâneas encontra-se estagnado e por não se encontrarem estabelecidas as condições higrotérmitas para o seu desenvolvimento, a aplicação de um tratamento preservador não será necessária.

Ainda assim, as peças degradadas por agentes xilófagos apresentam um estado de degradação prematuro o que não significa que não devam ser tomadas medidas correctivas, sendo que devem ser diferenciadas consoante se trate de ataque por caruncho, térmitas ou fungos. Muito pelo contrário, a progressão do ataque deve ser interrompida para que os elementos analisados mantenham a sua qualidade estrutural e de serviço, através de tratamentos preservadores e inibidores de degradação, possivelmente complementadas com métodos de reabilitação ou de reforço da estrutura.

6. Avaliação do comportamento estrutural do pavimento

Neste capítulo, apenas será alvo de avaliação estrutural a zona do pavimento, visto que se trata do local com maior grau de ataque por agentes xilófagos.

Quanto á metodologia aplicada, recorreu-se à regulamentação em vigor relativa ao tema:

- Eurocódigo 0 (NP EN 1990:2009): Bases para o projecto de estruturas;
- Eurocódigo 1 (NP EN 1991:2009): Acções em estruturas;
- Eurocódigo 5 (EN 1995:2004): Design of timber structures.

A **Figura 6.1**, apresenta a metodologia de cálculo a seguir de acordo com o Eurocódigo 0 (NP EN 1990:2009).

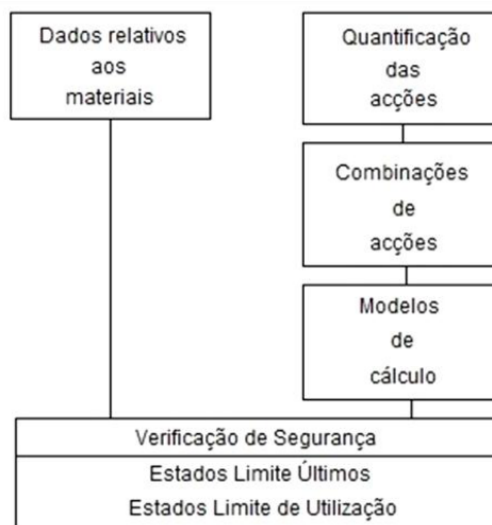


Figura 6.1: Metodologia de dimensionamento e verificação de segurança aconselhada pelo Eurocódigo 0 (Martins, 2010)

O regulamento preconiza os estados limite para quais a estrutura deve ser dimensionada, classificando-os como: últimos ou de utilização.

Segundo a norma os estados limites últimos são as situações de risco que podem colocar em causa a segurança da estrutura e do utilizador. Normalmente, os estados limites últimos encontram-se associados a perda de equilíbrio de parte da estrutura ou do próprio conjunto, ruína por deformação excessiva e rotura provocada pelos efeitos da fadiga.

Em relação aos estados limites de utilização, estes referem-se ao funcionamento da estrutura (em condições normais de utilização), ao conforto e aspecto da construção. Assim, implicam a verificação de parâmetros associados a deformação (que afectam o conforto, aspecto e funcionamento da

estrutura), vibrações (que limitam a eficiência da estrutura ou causam desconforto aos utilizadores) e danos (que prejudicam o aspecto, a durabilidade e o funcionamento da estrutura).

Globalmente, os estados limite últimos indicados no Eurocódigo 5 (EN 1995:2004) para o dimensionamento e verificação da segurança de um pavimento são: flexão simples, corte e bambeamento. Por outro lado, os estados limite de utilização em alvo de avaliação são a deformação e vibração (Appleton & Pombo, 2012).

Este capítulo pretende a verificação da resistência das vigas aos esforços de flexão instalados mediante a presença de degradação por agentes xilófagos e conseqüentemente a redução da área útil da secção.

6.1. Estado limite último – Flexão simples

Para a quantificação dos efeitos negativos da degradação na resistência à flexão, calculou-se para cada elemento do pavimento a tensão instalada com e sem redução de secção.

Através do presente no Eurocódigo 0 (NP EN 1990:2009), utilizou-se a seguinte combinação de acções:

$$E_d = E\{\gamma_{G,j}G_{k,j}; \gamma_P P; \gamma_{Q,1}Q_{k,1}; \gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i}\} \quad j \geq 1; i \geq 1 \quad (6.1)$$

A expressão anterior também pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j}G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1}Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i}\psi_{0,i}Q_{k,i} \quad (6.2)$$

Em que:

$\gamma_{G,j}$ – Coeficiente parcial relativo à acção permanente j

$G_{k,j}$ – Valor característico da acção permanente j

γ_P – Coeficiente parcial relativo a acções de pré-esforço

P – Valor representativo de uma acção de pré-esforço

$\gamma_{Q,1}$ – Coeficiente parcial relativo à acção variável base da combinação 1

$Q_{k,1}$ – Valor característico da acção variável base da combinação 1

$\gamma_{Q,i}$ – Coeficiente parcial relativo à acção variável i

$\psi_{0,i}$ – Coeficiente para a determinação do valor de combinação de uma acção variável

$Q_{k,i}$ – Valor característico da acção variável acompanhante i

A segunda parcela da expressão anterior relativa à acção base é referente à sobrecarga. A variável acompanhante não será inserida no cálculo, bem como a referente ao pré-esforço.

Segundo o EC0 (NP EN 1990:2009), o valor de γ_G e γ_Q é de 1,35 e 1,5, respectivamente.

6.1.1. Metodologia de cálculo

Admitindo que se trata de um sistema de estrutura composto por vigas simplesmente apoiadas, adoptou-se o esquema estrutural apresentado na **Figura 6.2**.

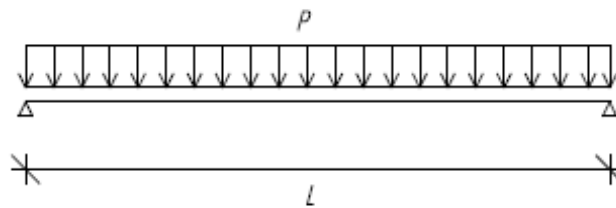


Figura 6.2: Modelo do carregamento das vigas

Em que:

P – Carregamento [kN/m]

L – comprimento [m]

O carregamento inclui o valor do peso próprio das vigas, o revestimento (tábuas de soalho) e a sobrecarga. O peso próprio das vigas é calculado individualmente para cada elemento recorrendo à massa volúmica e dimensões (base e altura) das vigas. Como no caso de estudo, a espécie de madeira não se encontra devidamente identificada, situando-se entre madeira de Pinho Bravo ou Casquinha, optou-se por adoptar a massa volúmica superior que conduz à situação mais desfavorável, que neste caso é a de Pinho Bravo. Assim adoptou-se um valor de densidade média de $5,8 \text{ kN/m}^3$, que corresponde à massa volúmica de uma peça de Pinho Bravo da Classe C18 (classe frequentemente utilizada em estruturas). Esta ponderação também se reflete a partir dos resultados obtidos na classificação visual apresentada no **Capítulo 7.**, onde se verificou que a maioria das vigas se insere na classe indicada. O valor do peso próprio das vigas pode ser calculado de acordo com a **Equação 6.3 e 6.4**:

$$\text{Peso próprio}_{\text{vigas}} [\text{kN/m}] = \text{Massa volúmica} [\text{kN/m}^3] \times \text{Dimensões da viga} [\text{m}] \quad (6.3)$$

$$\text{Peso próprio}_{\text{vigas}} [\text{kN/m}] = \text{Massa volúmica} [\text{kN/m}^3] \times \text{Base} [\text{m}] \times \text{Altura} [\text{m}] \quad (6.4)$$

Por simplificação, admitiu-se que as tábuas de soalho são da mesma espécie de madeira das vigas e por conseguinte apresentam a mesma densidade, sendo que a carga é dada por metro e é calculada com a **Equação 6.5**:

$$Peso_{tábuas\ de\ soalho} [kN/m] = Massa\ volúmica [kN/m^3] \times Altura\ da\ tábua [m] \quad (6.5)$$

Para a determinação do valor da sobrecarga consultou-se o Eurocódigo1 (NP EN 1991:2009). A sobrecarga é dada em função da Categoria de utilização do local em estudo, tal como se observa no **Quadro 6.1**.

Quadro 6.1: Categorias de utilização (Eurocódigo1 NP EN 1991:2009)

Categoria	Utilização específica	Exemplos
A	Actividades domésticas e residenciais	Salas em edifícios de habitação; quartos e enfermarias de hospitais; quartos de hotéis, cozinhas e lavabos.
B	Escritórios	
C	Locais de reunião (com excepção das utilizações correspondentes às categorias A, B e D) ¹⁾	<p>C1: Zonas com mesas, etc.; por exemplo, em escolas, cafés, restaurantes, salões de jantar, salas de leitura, recepções.</p> <p>C2: Zonas com assentos fixos; por exemplo, em igrejas, teatros ou cinemas, salas de conferências, salas de aulas, salas de reunião, salas de espera.</p> <p>C3: Zonas sem obstáculos para a movimentação de pessoas; por exemplo, em museus, salas de exposição, etc. e em acessos de edifícios públicos e administrativos, hotéis, hospitais, e em átrios de entrada de estações de comboio.</p> <p>C4: Zonas em que são possíveis actividades físicas; por exemplo, salões de dança, ginásios, palcos.</p> <p>C5: Zonas de possível acolhimento de multidões; por exemplo, edifícios para eventos públicos, tais como salas de concertos, salas para actividades desportivas incluindo bancadas, terraços e zonas de acesso; plataformas ferroviárias.</p>
D	Actividades comerciais	<p>D1: Zonas de lojas em geral.</p> <p>D2: Zonas de grandes armazéns.</p>
<p><i>1) Chama-se a atenção para 6.3.1.1(2), em particular para C4 e C5. Ver a EN 1990 quando for necessário considerar efeitos dinâmicos. Para a Categoria E, ver o Quadro 6.3.</i></p> <p><i>NOTA 1: Dependendo das utilizações previstas, as zonas que seriam normalmente classificadas como C2, C3 e C4 poderão ser classificadas como C5 por decisão do dono de obra e/ou do Anexo Nacional.</i></p> <p><i>NOTA 2: O Anexo Nacional poderá estabelecer subcategorias para A, B, C1 a C5, D1 e D2.</i></p> <p><i>NOTA 3: Ver 6.3.2 para zonas de armazenamento ou de actividades industriais.</i></p>		

Neste caso, a zona em estudo (pavimento de instalação sanitária), enquadra-se na Categoria de utilização A e conseqüentemente de acordo com o **Quadro 6.2**, o valor da sobrecarga é de 2,0 kN/m². Ainda assim, apesar da antiga utilização da construção ser residencial, não significa que não sofra alterações de utilização. Caso se verifique, a Categoria de utilização deve ser alterada o que provoca um aumento do valor da sobrecarga.

Quadro 6.2: Sobrecargas em pavimentos, varandas e escadas de edifícios (Eurocódigo1 NP EN 1991:2009)

<i>Categorias de zonas carregadas</i>	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
<i>Categoria A</i>		
- Pavimentos	1,5 a <u>2,0</u>	<u>2,0</u> a 3,0
- Escadas	<u>2,0</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 4,0
- Varandas	<u>2,5</u> a 4,0	<u>2,0</u> a 3,0
<i>Categoria B</i>	2,0 a <u>3,0</u>	1,5 a <u>4,5</u>
<i>Categoria C</i>		
- C1	2,0 a <u>3,0</u>	3,0 a <u>4,0</u>
- C2	3,0 a <u>4,0</u>	2,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- C3	3,0 a <u>5,0</u>	<u>4,0</u> a 7,0
- C4	4,5 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>
- C5	<u>5,0</u> a 7,5	3,5 a <u>4,5</u>
<i>Categoria D</i>		
- D1	<u>4,0</u> a 5,0	3,5 a 7,0 (<u>4,0</u>)
- D2	4,0 a <u>5,0</u>	3,5 a <u>7,0</u>

Assim, o valor do carregamento é calculado com a **Equação 6.6**:

$Carregamento_{vigas}$ [kN/m]

$$= (Peso\ Próprio_{vigas} [kN/m] + Peso_{tábuas\ de\ soalho}) \times \gamma_G + Sobrecarga \times \gamma_Q \quad (6.6)$$

$$Carregamento_{vigas} [kN/m] = (Peso\ Próprio_{vigas} [kN/m] + 5,8 \times 0,04) \times 1,35 + 2,0 \times 1,5$$

Seguindo a metodologia presente no Eurocódigo 5 (EN 1995:2004) e abordada por Appleton & Pombo (2012), a verificação da capacidade resistente do pavimento à flexão é dada pelas seguintes expressões (**Equação 6.7, 6.8 e 6.9**):

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (6.7)$$

Sabendo que:

$$f_{m,d} = k_{mod} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{w} = \frac{P \times L^2}{\frac{8}{b \times h^2}} = \frac{6 \times P \times L^2}{8 \times b \times h^2} \quad (6.9)$$

Então, a verificação pode ser calculada de acordo com a **Equação 6.10**:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{mod}} \leq \frac{f_{m,d}}{\gamma_M} \quad \left[\frac{kN}{m^2} \right] \quad (6.10)$$

Em que:

$\sigma_{m,d}$ – Valor de cálculo da tensão à flexão [kN/m²]

$f_{m,d}$ – Valor de cálculo da resistência à flexão [kN/m²]

k_{mod} – Factor de modificação da resistência em função da duração da carga

$f_{m,k}$ – Valor característico da resistência à flexão

γ_M – Coeficiente parcial relativo a uma propriedade de um material, que também cobre incertezas de modelação e desvios de dimensões

$M_{s,d}$ – Valor de cálculo do momento [kN.m]

w – Módulo de flexão [m³]

P – Carregamento das vigas [kN/m]

L – Comprimento das vigas [m]

b – Dimensão da base das vigas [m]

h – Dimensão da altura das vigas [m]

O valor de γ_M encontra-se definido no **Quadro 6.3**. Por se tratar de madeira maciça (Solid timber), o coeficiente é de 1,3.

Quadro 6.3: Valores recomendados para o coeficiente parcial γ_M (Eurocódigo5 NP EN 1995:2004)

Fundamental combinations:	
Solid timber	1,3
Glued laminated timber	1,25
LVL, plywood, OSB,	1,2
Particleboards	1,3
Fibreboards, hard	1,3
Fibreboards, medium	1,3
Fibreboards, MDF	1,3
Fibreboards, soft	1,3
Connections	1,3
Punched metal plate fasteners	1,25
Accidental combinations	1,0

Para o valor de k_{mod} consultou-se o **Quadro 6.4**, presente no Eurocódigo5 (NP EN 1995:2004). A análise do quadro implica a identificação da Classe de serviço do local que se encontra em análise. A norma em causa estabelece três Classes de serviço que dependem das condições higrotérmicas a que o material se encontra sujeito, nomeadamente:

- Classe de serviço 1 – apresenta um teor de humidade dos materiais correspondente à temperatura de 20 °C e uma água relativa do ar ambiente que apenas excede os 65% em algumas semanas por ano;
- Classe de serviço 2 – apresenta um teor de humidade dos materiais correspondente à temperatura de 20 °C e uma humidade relativa do ar ambiente que apenas excede os 85% em algumas semanas por ano;
- Classe de serviço 3 – devido a condições climáticas apresenta valores do teor de humidade dos materiais superiores aos que se verificam na Classe de serviço 2.

Quadro 6.4: Valores de k_{mod} (Eurocódigo5 NP EN 1995:2004)

Material	Standard	Service class	Load-duration class				
			Permanent action	Long term action	Medium term action	Short term action	Instantaneous action
Solid timber	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Glued laminated timber	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Plywood	EN 636 Part 1, Part 2, Part 3 Part 2, Part 3 Part 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Particle-board	EN 312 Part 4, Part 5 Part 5 Part 6, Part 7 Part 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Fibreboard, hard	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 or 2 HB.HLA1 or 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Fibreboard, medium	EN 622-3 MBH.LA1 or 2 MBH.HLS1 or 2 MBH.HLS1 or 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80
Fibreboard, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	–	–	–	0,45	0,80

De acordo com a descrição referida anteriormente, o pavimento em estudo insere-se na Classe de serviço 2, o que para madeira maciça (Solid timber) corresponde a um coeficiente de k_{mod} de 0,60

para cargas permanentes (peso próprio das vigas e respectivo revestimento) e de 0,8 para cargas de média duração (sobrecarga). Neste caso, admitiu-se a sobrecarga como uma acção de média duração visto que se trata de uma situação intermédia de duração da carga e porque não se considera esta acção como permanente, mas sim como variável.

Tal como já foi referido, ponderou-se a existência de madeira de Pinho Bravo da Classe C18, que de acordo com o **Quadro 3.9** do **Capítulo 3.3**, apresenta uma resistência à flexão de 18000 kN/m². No caso da espécie de madeira ser Casquinha, a resistência à flexão também ronda o mesmo valor.

6.2. Conclusão

Assim, com todos os dados disponíveis procedeu-se ao cálculo da tensão instalada. No **Quadro 6.5**, apresenta-se o resumo dos cálculos efectuados com os principais resultados obtidos. A metodologia de cálculo completa está presente no **Anexo 6.A do Capítulo 6**. Como já era de esperar, a resistência no caso das vigas com a secção total, na maioria dos casos, é muito superior à tensão instalada. Apesar disto, nas vigas de maior dimensão (8, 9,10 e 11), a relação entre a tensão e a resistência varia entre os 77 e 89%, verificando-se ainda a conformidade com a normalização.

Quadro 6.5: Verificação das vigas à resistência por flexão simples (Resumo)

Elemento	Secção inicial				Secção actual			
	$\frac{\sigma_{sd\ total}}{k_{mod}}$	$\frac{f_{m,k}}{Y_M}$	Conclusão	Relação entre a tensão instalada ($\sigma_{sd\ total}$) e capacidade resistente ($f_{m,k}$)	$\frac{\sigma_{sd\ total}}{k_{mod}}$	$\frac{f_{m,k}}{Y_M}$	Conclusão	Relação entre a tensão instalada ($\sigma_{sd\ total}$) e capacidade resistente ($f_{m,k}$)
1	3058,0	13846,2	Verifica	0,22				
2	3100,4	13846,2	Verifica	0,22				
3	3058,0	13846,2	Verifica	0,22	3315,1	13846,2	Verifica	0,24
4	2838,5	13846,2	Verifica	0,21				
5	4129,6	13846,2	Verifica	0,30				
6	7141,5	13846,2	Verifica	0,52				
7	8741,3	13846,2	Verifica	0,63				
8	10699,7	13846,2	Verifica	0,77	13389,2	13846,2	Verifica	0,97
9	12170,4	13846,2	Verifica	0,88	13494,3	13846,2	Verifica	0,97
10	12124,7	13846,2	Verifica	0,88	12079,8	13846,2	Verifica	0,87
11	12272,9	13846,2	Verifica	0,89	13317,3	13846,2	Verifica	0,96
12	8632,4	13846,2	Verifica	0,62				
13	5749,9	13846,2	Verifica	0,42	6013,6	13846,2	Verifica	0,43
14	2567,9	13846,2	Verifica	0,19				

Com a secção actual das vigas, ou seja com a redução das dimensões provocada pela degradação por caruncho grande e pequeno, a resistência da estrutura do pavimento aos esforços por flexão simples ainda é verificada. Porém, o quociente entre a tensão e a resistência à flexão já se aproxima da unidade, cerca de 0,97, o que significa que em algumas vigas (8 e 9) a verificação é cumprida com pouca margem de segurança. Assim, significa que caso a degradação biológica avance, este parâmetro passa a não ser verificado segundo o regulamento.

Nesse sentido, é necessário ter em conta a progressão do ataque e aplicar um tratamento preservador adequado ao tipo de degradação identificada, até porque caso se verifique a continuação da redução da secção dos elementos a capacidade resistente diminui e a segurança a este esforço não é confirmada. Este facto pode acarretar consequências de aumento de deformação e em último caso a rotura total ou parcial do pavimento.

A verificação da segurança não se baseia apenas na verificação da resistência à flexão, os restantes estados limites últimos e de utilização devem ser verificados para que a segurança da estrutura possa ser assegurada. Para além disto, é necessário ter em atenção todas as simplificações e ponderações efectuadas ao longo da análise, quer em termos da espécie da madeira e dados inerentes, quer em termos de cargas, nomeadamente peso das tábuas de soalho e valor da sobrecarga.

É importante referir que neste capítulo apenas foram alvo de avaliação as vigas, ou seja, as sequências de tarugos (15 e 16) não estão contempladas no estudo. Isto porque a sua função principal não é estrutural mas sim de contraventamento, apesar de contribuírem para a sustentação da mesma. Porém, como cada sequência de tarugos é composta por várias peças com comprimento igual ao espaçamento entre vigas, a avaliação é dispensada por se verificar a segurança nas vigas que apresentam maior comprimento, isto porque se admite que as peças são da mesma espécie de madeira.

7. Aplicação da classificação visual segundo a norma NP 4305:1995

O presente capítulo tem por objectivo a aplicação da norma e a apresentação e justificação de todos os cálculos efectuados, bem como críticas à regulamentação e particularidades identificadas *in situ*.

Os capítulos seguintes apresentam os resultados obtidos para cada parâmetro, bem como a classe correspondente segundo a norma abordada. Para cada peça de madeira estudada, foi elaborada uma ficha de classificação visual (**Figura 7.1**) que discrimina todas suas características geométricas, defeitos, degradação biológica e classe de qualidade final. As fichas de classificação visual são apresentadas no **Anexo 7.G do Capítulo 7**. É de salientar que o processo de classificação visual realizado *in situ* foi bastante moroso, podendo conter erros associados à leitura efectuada pelo operador.

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local				Espécie	
	Tipo				Secção (b x h)	
	Numeração				Comprimento	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários:		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (mm)					
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários:	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D _{face}
		K1	K2	K3	b	D _{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários:	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula						
Classes de Qualidade						

Figura 7.1: Ficha de classificação visual (Adaptado de Franco, 2008 e Santos, 2009)

7.1. Apresentação de resultados

7.1.1. Nós

Para a avaliação deste defeito, calculou-se a área marginal (KAR marginal) e total (KAR total) ocupada pelos nós em cada peça de madeira, tal como se observa na **Figura 7.2**. Estes parâmetros obtêm-se através do quociente entre a respectiva área ocupada pelos nós (marginal e total) e a área da secção transversal da peça. Nas peças desenhadas V, VI e VII, é apresentada a metodologia utilizada para a medição da secção ocupada pelos nós para cada elemento das três zonas de estudo.

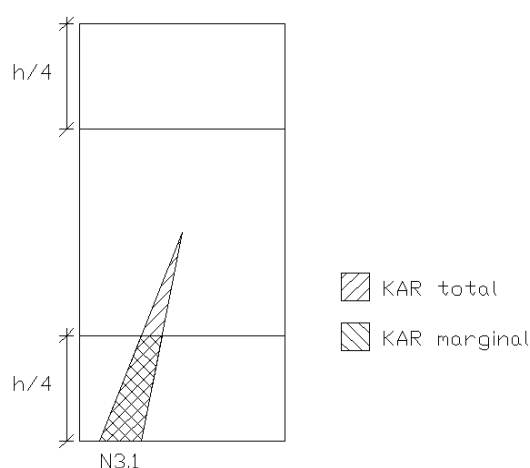


Figura 7.2: Avaliação do KAR total e KAR marginal

Após o cálculo, os resultados obtidos foram comparados com os limites máximos impostos na norma, verificando-se que 32% das peças se enquadram na classe de qualidade EE, 56% na classe E e apenas 16% não apresentam nós na sua constituição inserindo-se também na Classe de qualidade EE.

Os resultados (atribuição de classe de qualidade e cálculos justificativos) são apresentados nos quadros presentes no **Anexo 7.A do Capítulo 7**.

A identificação de nós foi influenciada por alguns aspectos que poderão modificar e limitar o resultado final obtido, como por exemplo:

- Nas três zonas analisadas (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim), os topos das peças não se encontram visíveis, o que impede a verificação da presença de medula. Para além dos topos, o canto inferior das vigas também não se encontra descoberto para que possa ser observado e analisado. Assim, foi considerada a existência de medula nos casos em que os nós não são perceptíveis em duas faces. Apesar de se admitir a presença de medula, não é possível determinar a sua localização exacta. Por esta razão, adoptou-se por simplificação a sua localização no centro da secção transversal das peças. Após a conclusão da avaliação e elaboração dos resultados, verifica-se que esta simplificação não é condicionante, visto que,

na generalidade tanto o KAR marginal como o KAR total, se encontram muito abaixo dos limites indicados na norma. Ainda assim, apesar de se adoptar a solução mais conservadora, verifica-se que caso a medula fosse considerada noutra ponto mais desfavorável da secção transversal da peça, os resultados não divergiam significativamente dos apresentados devido à fraca expressão do KAR total e marginal.

No caso da viga 1, o topo, canto inferior e a face orientada para Sudeste (SE) não são visíveis, o que dificultou a avaliação (**Figura 7.3**).

A simplificação foi aplicada aos seguintes elementos: vigas (1, 2, 8, 10, 11, 12 e 14) e tarugos (15 e 16) do pavimento, perna de asna (3) e madre (4) da cobertura dos arrumos.



Figura 7.3: Viga 1: Canto, Topos e face inacessível

- Algumas das peças analisadas apresentam degradação superficial (**Figura 7.4**), característica que dificultou a identificação dos nós, incluindo a sua localização e dimensões.

Este facto pode induzir em erro, quanto ao reconhecimento dos nós nas suas duas faces, o que implica a presença de medula e consequentemente a exclusão da Classe EE. Este aspecto foi evidenciado nos seguintes elementos: vigas (2, 3, 8, 11 e 13) do pavimento.



Figura 7.4: Degradação superficial (viga 13 do pavimento)

Outro aspecto que dificultou a identificação dos nós foi a pintura de cal aplicada em algumas peças de madeira da cobertura (**Figura 7.5**), como por exemplo: pernas de asna (2 e 3) da cobertura dos arrumos e todos os elementos da cobertura do lanternim.



Figura 7.5: Pintura de cal na perna de asna 1 da cobertura do lanternim

- Na avaliação dos resultados, verifica-se alguma incoerência quanto à posição da medula na viga 6 do pavimento. Trata-se de dois nós agrupados, cuja medula se encontra localizada no exterior da secção transversal.

Após a abordagem do percurso do nó, possível através do reconhecimento do mesmo em duas faces, verifica-se o percurso ligeiramente diferente dos dois nós, que na realidade deveria convergir num único ponto: a medula (Figura 7.6).



Figura 7.6: Avaliação da posição da medula da viga 6 do pavimento (imagem representativa e secção transversal)

É provável que a origem do erro seja devido a erro de medição ou registo realizado *in situ*. Após a identificação do erro, analisou-se a sua influência no resultado final e conclui-se que o erro não introduz alterações significativas na avaliação. Isto porque, caso a localização da medula estivesse correctamente identificada, para além dos nós se apresentarem praticamente sobrepostos, a variação da área ocupada pela projecção dos nós não seria significativa.

7.1.2. Inclinação do fio

A medição da inclinação do fio foi realizada com o auxílio de um esquadro e régua de nível, com um comprimento de 0,50 metros. A medição foi efectuada nas faces e topos dos elementos (consoante a

zona em análise) e afastada de nós e outros defeitos, de modo a não contabilizar a alteração de inclinação do fio devido à existência de anomalias.

Os resultados (atribuição de classe de qualidade e cálculos justificativos) são apresentados no **Anexo 7.B do Capítulo 7**.

Na análise dos quadros referidos anteriormente, observa-se que todas as peças analisadas se inserem na Classe EE (madeira especial para estruturas) da norma NP 4305:1995, por apresentarem uma inclinação do fio igual ou inferior a 0,1.

Em alguns casos, o fio apresenta-se horizontal ou com valor muito reduzido, o que significa que a serragem foi correctamente executada e não existem defeitos ao nível do crescimento da árvore. Na **Figura 7.7**, observa-se a fraca inclinação do fio, neste caso, presente na viga 9 do pavimento.

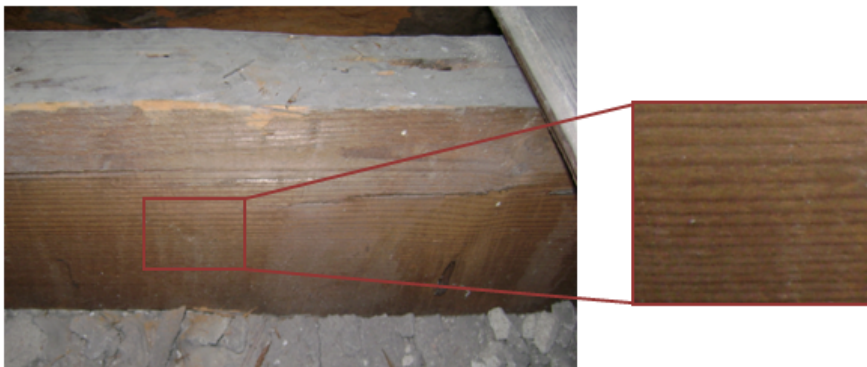


Figura 7.7: Inclinação do fio (Viga 9 do pavimento)

7.1.3. Taxa de crescimento

Por se tratar de peças aplicadas *in situ*, os topos não se encontram acessíveis, o que dificultou o processo de caracterização deste parâmetro. Assim, para a medição da taxa de crescimento contabilizou-se a largura média dos anéis nas faces e cantos com o auxílio de régua/fita métrica.

Em alguns elementos, como por exemplo na zona das vigas do pavimento, foi necessário realizar uma ligeira limpeza de modo a melhorar as condições de visualização e análise do aspecto exterior das peças.

No caso da cobertura (lanternim), a presença de peças com pintura de cal prejudicou a avaliação, dificultando a inspecção visual.

Os resultados (atribuição de classe de qualidade e cálculos justificativos) são apresentados no **Anexo 7.C do Capítulo 7**.

Após a avaliação da taxa de crescimento de todas as peças, conclui-se que se enquadram na Classe EE (madeira especial para estruturas), isto porque apresentam largura média de anéis inferior a 0,01 metros.

7.1.4. Fendas

A avaliação de fendas abordada na norma baseia-se no comprimento da fenda (L_f) e no facto de se apresentarem ou não repassadas. Ainda assim, foram contabilizadas a profundidade e a abertura de cada fenda. Para a medição dos diferentes parâmetros foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Fita métrica: medição do comprimento da fenda;
- Comparador de fendas: medição da abertura da fenda;
- Faca: averiguação da profundidade da fenda.

Na **Figura 7.8**, observa-se a realização de medição da abertura da fenda através da utilização de comparador de fendas.

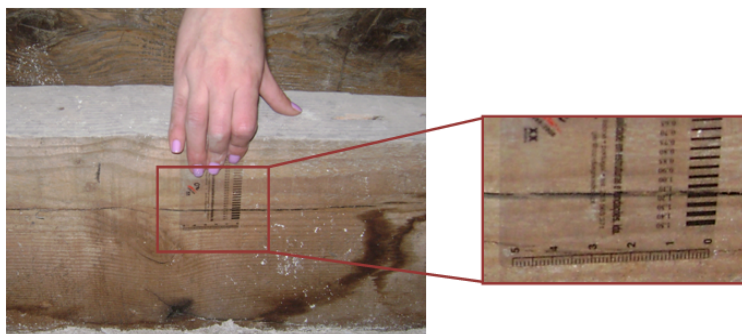


Figura 7.8: Medição da abertura de fendas com comparador de fendas

Cada elemento contém uma ou mais fendas, sendo que a análise foi realizada separadamente para que cada uma fosse classificada de acordo com os requisitos estabelecidos. No **Anexo 7.D do Capítulo 7**, estão apresentados os resultados da medição incluindo a classificação de cada peça.

Na análise dos quadros referidos anteriormente verifica-se que no pavimento as vigas 5, 9, 10 e 16 apresentam fendas, sendo que as dos elementos 9 e 10 apresentam maior extensão. Na cobertura dos arrumos apenas se verifica fendilhação no elemento 3. No caso da cobertura do lanternim, os elementos 1, 2 e 4 apresentam fendas. Nesta zona o elemento 2 destaca-se devido à presença de inúmeras fendas localizadas ao longo de todo o elemento (faces e cantos).

Em suma, nos três locais existem oito peças de madeira com presença de fendas, sendo que 50% é classificada como “Sem classe”, ou seja, apresentam valores superiores aos estabelecidos pela Classe EE e E. Os restantes elementos representam 25% da Classe EE e 25% da Classe E.

7.1.5. Descaio

Este defeito foi identificado apenas em algumas das peças de madeira, nomeadamente: viga 2, 5, 7, 10 e 11 do pavimento, perna de asna 2 da cobertura dos arrumos e pendural 1 e nível 5 da cobertura do lanternim.

Em relação às peças de madeira avaliadas nas três zonas em estudo, verifica-se que apenas 32% dos elementos apresentam descaio. Da percentagem apresentada anteriormente, 50% da amostra insere-se na classe de qualidade EE e os restantes 50% encontram-se divididos, sendo que 25% pertence à classe E e os restantes 25% pertencem a elementos que não podem ser inseridos nas classes de qualidade presentes na normalização por apresentarem valores superiores aos limites estabelecidos. É o caso da perna de asna 2 da cobertura dos arrumos e do nível 5 da cobertura do lanternim. No primeiro caso, reconhece-se a presença de descaio em ambas as faces e no canto inferior. A perda de secção é visível e representa uma elevada percentagem quando analisada em termos de secção transversal: 33,1% e 19,9% em cada face (em relação à altura) e 63,6% no canto (em relação à base). No caso do nível 5 da cobertura do lanternim, tal como é referido na respectiva ficha de classificação visual, não se verifica a perda de secção por descaio mas provavelmente devido a defeito físico da peça proveniente de uma razão externa. Porém devido à extensa perda de área adoptou-se esta simplificação para possibilitar a contabilização do defeito.

Os resultados (atribuição de classe de qualidade e cálculos justificativos) são apresentados nos quadros presentes no **Anexo 7.E do Capítulo 7**. Na **Figura 7.9** observa-se a perda de secção por descaio de alguns elementos já referidos anteriormente.



Figura 7.9: Descaio em elementos da cobertura do lanternim: pendural (1)

7.1.6. Empenos

Em relação a este defeito apenas se verificou empeno de arco de face nas vigas do pavimento, muito provavelmente devido a fenómenos de fluência. Apesar da existência desta anomalia, o empeno é suficientemente reduzido para a atribuição da classe EE a todos os elementos (**Figura 7.10**).



Figura 7.10: Vista geral das vigas do pavimento

Os resultados (atribuição de classe de qualidade e cálculos justificativos) são apresentados no **Anexo 7.F do Capítulo 7**.

7.1.7. Bolsas de resina e casca inclusa

Não foram detectadas bolsas de resina e casca inclusa nos elementos submetidos a avaliação.

7.1.8. Medula

Tendo em conta o citado no **Capítulo 7.1.1**, admite-se que os elementos em que a medula se encontra presente no interior da secção transversal são os seguintes:

- Pavimento: vigas 1, 2, 8, 10, 11, 12 e 14 e tarugos 15 e 16;
- Cobertura dos arrumos: perna de asna 3 e madre 4.

7.1.9. Degradação biológica

Tal como já foi referido no **Capítulo 5.3**, algumas das peças de madeira encontram-se em processo de degradação por agentes biológicos, nomeadamente: caruncho (grande e pequeno), térmitas e fungos de podridão. Na **Figura 7.11**, apresenta-se um exemplo de degradação biológica por caruncho numa das vigas do pavimento (13).



Figura 7.11: Degradação biológica por térmitas (elemento 4 da cobertura dos arrumos)

Segundo a norma NP 4305:1995 e de acordo com o enunciado no **Capítulo 3.3.**, não são aceites peças sujeitas a degradação biológica por insectos ou fungos de podridão. Assim, após a avaliação individual das peças, conclui-se que 44% dos elementos apresentam degradação biológica, razão pela qual serão excluídos da análise não lhes sendo atribuída qualquer classe. Consequentemente, os restantes 56% apresentam-se sãos em relação a este tipo de degradação.

7.2. Conclusão

A aplicação da norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação visual) permite que em função da classe dos elementos se possa conhecer alguns dos seus valores característicos das propriedades mecânicas.

No **Anexo 7.G do Capítulo 7** são apresentadas as fichas de classificação de todos os elementos avaliados. As fichas contêm as informações recolhidas ao longo do processo incluindo: origem, geometria, localização, defeitos, degradação biológica, entre outros aspectos considerados como pertinentes para a metodologia de avaliação.

Como complemento à análise efectuada e fichas individuais de classificação visual, são apresentados nas peças desenhadas VIII, IX, X, XI, XII e XIII todos os defeitos presentes em cada um dos elementos analisados do pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim.

Após a análise pormenorizada de todos os defeitos contemplados com a norma, foram atribuídas as classes de qualidade a cada um dos elementos de madeira analisados.

Analisando os resultados presentes no **Anexo 7.H.1 do Capítulo 7**, conclui-se que no caso do pavimento, a maioria das vigas (53,6%) cumprem as indicações propostas pela norma para a atribuição da Classe E e apenas 6,3% se enquadram na Classe EE. Porém, cerca de 37,5% das vigas são

consideradas como “Sem classe”, o que significa que não cumprem os requisitos propostos pela norma.

No **Quadro 7.1**, apresenta-se a classe de qualidade atribuída a cada elemento construtivo. Tal como já foi referido ao longo dos capítulos anteriores, verifica-se que a maioria dos elementos classificados como “Sem classe” são excluídos da classificação devido à presença de degradação biológica (Viga 3,8,9,10,11 e 13) e fendas com extensão muito elevada (Viga 9 e 10).

Quadro 7.1: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (pavimento - resumo)

Localização	Elemento	Classe
Pavimento	1	Classe E
	2	Classe E
	3	Sem classe
	4	Classe E
	5	Classe E
	6	Classe E
	7	Classe EE
	8	Sem classe
	9	Sem classe
	10	Sem classe
	11	Sem classe
	12	Classe E
	13	Sem classe
	14	Classe E
	15	Classe E
	16	Classe E

Em relação ao **Anexo 7.H.2 do Capítulo 7**, relativo à cobertura dos arrumos, verifica-se que todos os elementos construtivos são classificados como “Sem classe” (**Quadro 7.2**). Neste caso, este facto verifica-se devido ao descaio (perna da asna 2), degradação biológica (madre 1 e 4 e perna de asna 2) e fendas (perna de asna 3).

Quadro 7.2: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (cobertura dos arrumos - resumo)

Localização	Elemento	Classe
Cobertura (arrumos)	1	Sem classe
	2	Sem classe
	3	Sem classe
	4	Sem classe

Por fim, o **Anexo 7.H.2 do Capítulo 7**, apresenta os resultados finais obtidos para a classificação das peças de madeira da cobertura do lanternim. Assim, 40% dos elementos enquadram-se na Classe EE e a maioria (60%) são excluídos da avaliação, ou seja, pela aplicação da norma não têm classe. A

classificação “Sem classe” deve-se à presença de fendas (diagonal 2), descaio (nível 5) e degradação biológica (pendural 1 e nível 5). No **Quadro 7.3**, apresenta-se a classe de qualidade atribuída a cada elemento construtivo.

Quadro 7.3: Atribuição de classe de qualidade pela norma portuguesa (cobertura do lanternim - resumo)

Localização	Elemento	Classe
Cobertura (lanternim)	1	Sem classe
	2	Sem classe
	3	Classe EE
	4	Classe EE
	5	Sem classe

Assim, analisando as três zonas em estudo verifica-se que: 12% dos elementos se inserem na Classe EE, 36% na Classe E e 52% são excluídos, dados representados graficamente na **Figura 7.12**.

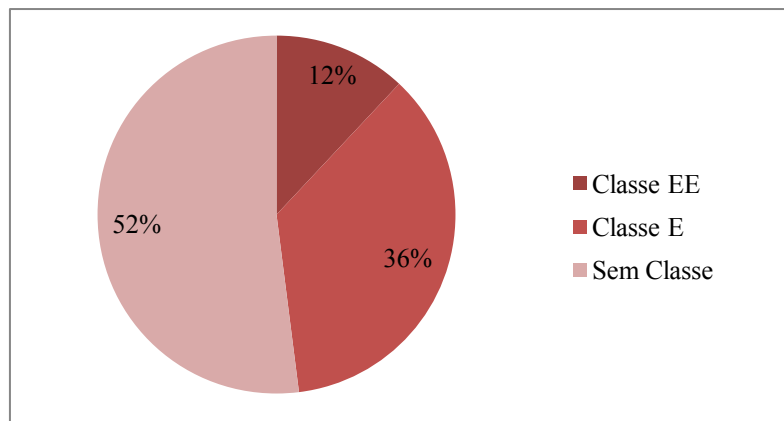


Figura 7.12: Atribuição de classes de qualidade pela norma portuguesa (em percentagem)

Apesar dos resultados obtidos, é necessário ter em conta que se trata de uma abordagem *in situ* com muitas limitações, já referidas anteriormente. Ainda assim, na maioria das peças, a presença de degradação biológica foi determinante, levando a que muitos dos elementos fossem eliminados das classes de qualidade. Este facto implica que não é possível a retirada de conclusões quanto às propriedades dos elementos classificados como “Sem classe”. Assim, a averiguação dessas propriedades deveria ser realizada com recurso a outros métodos de inspeção e diagnóstico (destrutivos, não destrutivos ou laboratoriais). Para os restantes elementos das Classes EE e E, pode-se avaliar a sua capacidade resistente através dos parâmetros indicados no **Quadro 3.3** do **Capítulo 3.9**. É importante lembrar, que por se tratar de uma norma, a sua aplicação não é obrigatória a não ser que seja reconhecida em decreto-lei. Porém, a sua aplicação é muito vantajosa porque permite a quantificação de características importantes para os cálculos estruturais.

Por se tratar de um edifício em fase de reabilitação é fundamental o reconhecimento do estado do material estrutural, neste caso, a madeira. Em termos de dimensionamento, as propriedades mecânicas associadas a cada classe de qualidade presentes na norma são fundamentais. Esta abordagem permite a avaliação mais pormenorizada quanto à resistência da estrutura (esforços actuantes e resistentes) e esclarece quanto à necessidade de reforço dos elementos estruturais mais danificados.

É importante salientar que a norma é direccionada para a avaliação de madeira nova. Assim, em certas propriedades avaliadas, é provável que a aplicação rígida dos limites impostos pela normalização se torne demasiado conservativa. Para a utilização da presente norma em edifícios de madeira antiga, seria necessário adaptar as características em análise. Sendo assim, a análise deveria cingir-se apenas aos defeitos mais relevantes para a resistência mecânica dos elementos e tendo em conta, sobretudo a localização do defeito face ao tipo de esforço a que a peça está sujeita.

8. Aplicação da classificação visual segundo a norma UNI 11119:2004

O presente capítulo tem por objectivo a aplicação da norma italiana UNI 11119:2004, assim como a apresentação e justificação de todos os cálculos realizados, conclusões retiradas e particularidades identificadas *in situ*.

Ao contrário do efectuado para a norma portuguesa, não foram elaboradas fichas de classificação visual. Esta opção deve-se, em primeiro lugar à simplicidade que a norma italiana apresenta em comparação com a portuguesa, e em segundo lugar à preocupação com o controlo da dimensão total do trabalho. Deste modo os resultados serão apresentados em tabelas de resumo presentes nos **Anexos do Capítulo 8**. Porém, no caso de um trabalho de índole não académica (num ambiente profissional por exemplo), a realização de fichas de classificação visual seria indispensável para o registo de todos os dados recolhidos ao longo do estudo *in situ*. Seguidamente serão apresentados os resultados obtidos para cada parâmetro, bem como a classe correspondente atribuída pela norma.

8.1. Apresentação de resultados

Tal como referido no **Capítulo 3.4**, a norma visa avaliar a secção crítica dos elementos, tendo sido especificamente concebida para madeira antiga. No caso de estudo a secção crítica dos elementos coincidiu com a secção a meio vão devido ao carregamento verificado ser distribuído e uniforme, e à localização dos defeitos mais significativos ser, na generalidade dos casos, nesse local. Em alguns locais a secção crítica poderia localizar-se nos apoios, situação que não se verificou devido à inexistência de defeitos nas suas proximidades. As peças desenhadas apresentadas em anexo auxiliam a visualização da posição e características dos defeitos.

8.1.1. Nós

Para a avaliação deste tipo de defeitos foi efectuada a distinção entre nós isolados e nós agrupados. Apenas foram analisados os defeitos (nós isolados e agrupados) presentes na zona crítica de cada elemento. Desta forma, após a avaliação segundo os parâmetros estabelecidos pela norma verificou-se que 80% dos elementos se inserem na Classe I, 16% na Classe II e apenas 4% na Classe III (**Anexo 8.A do Capítulo 8**).

8.1.2. Inclinação do fio

Por análise efetuada se tratar de uma análise *in situ*, ocorreram limitações em termos de acessibilidade a alguns elementos, nomeadamente aos topos das peças. Por esta razão foi impossível diferenciar a secção tangencial e radial dos elementos. Ainda assim verifica-se que a maioria dos elementos (com excepção na viga 1 do pavimento) se inserem na Classe de qualidade I, respeitando os limites impostos na norma para a inclinação do fio na secção radial e transversal (**Anexo 8.B do Capítulo 8**).

8.1.1. Fendas

Como foi apresentado no **Capítulo 3.4**, a norma apresenta três tipos de fendas, tendo este como origem o congelamento da água no interior da peça, a separação dos anéis e a retracção. No caso de estudo, a limitação de acessibilidade aos topos das peças influenciou directamente a avaliação deste defeito, na medida em que impossibilitou a visualização da origem e do traçado da fenda. Assim, e por motivo de simplificação, admitiu-se que as fendas presentes nas peças estão associadas a fenómenos de retracção. Deste modo, no caso de fendas de retracção a norma é tolerante se estas não atingirem a medula da peça. As simplificações referidas também foram admitidas na classificação visual proposta pela norma portuguesa para a posição da medula. Verifica-se que, para cada um dos elementos, a maioria das fendas não se encontra presente na zona identificada como zona crítica. Tal como se pode constatar no **Anexo 8.C do Capítulo 8**, a avaliação deste defeito permitiu concluir que cerca de 88% dos elementos dos três locais analisados se inserem na Classe I e 12% na Classe II.

8.1.2. Descaio

O descaio revelou tratar-se de uma característica pouco significativa para a avaliação em causa. Isto deve-se à grande maioria dos elementos inspecionados se inserirem na Classe de qualidade I (cerca de 92%), sendo que apenas dois dos elementos (8%) não se inserem nas classes preconizadas na norma (**Anexo 8.D do Capítulo 8**). Estes elementos apresentam valores de descaio superiores ao permitido pela Classe III, e por esta razão são classificados como “Sem classe”. Como já foi esclarecido no **Capítulo 7**, o elemento 5 da cobertura do lanternim apresenta um defeito que, apesar de não ser considerado como tal, foi identificado como descaio.

8.2. Conclusão

Após a avaliação individual das peças de madeira é possível analisar os três locais de estudo de um modo geral. No pavimento verifica-se que 56,3% dos elementos pertencem à Classe I, 37,5%

pertencem à Classe II e 6,3% pertencem à Classe III. No **Quadro 8.1** observa-se a classe atribuída a cada viga e tarugo do pavimento. Nesta zona pode-se concluir que a existência de nós isolados e agrupados de grandes dimensões na zona crítica tem uma grande influência na maioria dos elementos que se inserem na Classe II e III..

Quadro 8.1: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (pavimento - resumo)

Localização	Elemento	Classe de qualidade
Pavimento	1	Classe II
	2	Classe I
	3	Classe II
	4	Classe I
	5	Classe I
	6	Classe I
	7	Classe I
	8	Classe III
	9	Classe I
	10	Classe II
	11	Classe II
	12	Classe I
	13	Classe I
	14	Classe I
	15	Classe II
	16	Classe II

No caso da cobertura dos arrumos, verifica-se que 50% dos elementos são classificados como pertencentes à Classe I, 25% como pertencentes à Classe II, não se inserindo os restantes 25% nas classes estabelecidas pela norma (**Quadro 8.2**). Existe apenas um dos elementos classificado como “Sem classe”, devendo-se isto ao facto de apresentar descaio acentuado em ambas as faces.

Quadro 8.2: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (cobertura dos arrumos - resumo)

Localização	Elemento	Classe de qualidade
Cobertura (arrumos)	1	Classe I
	2	Sem classe
	3	Classe II
	4	Classe I

Na cobertura do lanternim 60% das peças pertencem à Classe I, 20% à Classe II e 20% são considerados como “Sem classe” (**Quadro 8.3**). Esta última parcela de elementos está relacionada com o grande defeito presente no elemento 5 anteriormente explicado.

Nos **Anexos 8.E do Capítulo 8** apresentam-se em pormenor as tabelas de atribuição de classe de qualidade a cada elemento dos locais avaliados.

Quadro 8.3: Atribuição de classe de qualidade pela norma italiana (cobertura do lanternim - resumo)

Localização	Elemento	Classe de qualidade
Cobertura (lanternim)	1	Classe I
	2	Classe I
	3	Classe II
	4	Classe I
	5	Sem classe

Com a análise individual de cada zona de estudo é possível avaliar a qualidade da madeira a nível global. Como já era expectável, devido à elevada qualidade do material aplicado e dos processos construtivos utilizados verifica-se que a maioria dos elementos (56%) pertence à Classe I, sendo este o nível mais rigoroso de qualidade. Por outro lado, cerca de 32% pertence à Classe II e apenas 4% se insere na Classe III (Figura 8.1). Contudo, apesar da qualidade da construção verificada, existe uma pequena percentagem de peças que, devido à presença de defeitos com características não permitidas pela norma são excluídas da avaliação, sendo consideradas como “Sem classe” (8%). Estes elementos não podem ser analisados de acordo com esta norma, razão pela qual é aconselhada pela mesma a realização de ensaios não destrutivos de modo complementar o estudo efectuado.

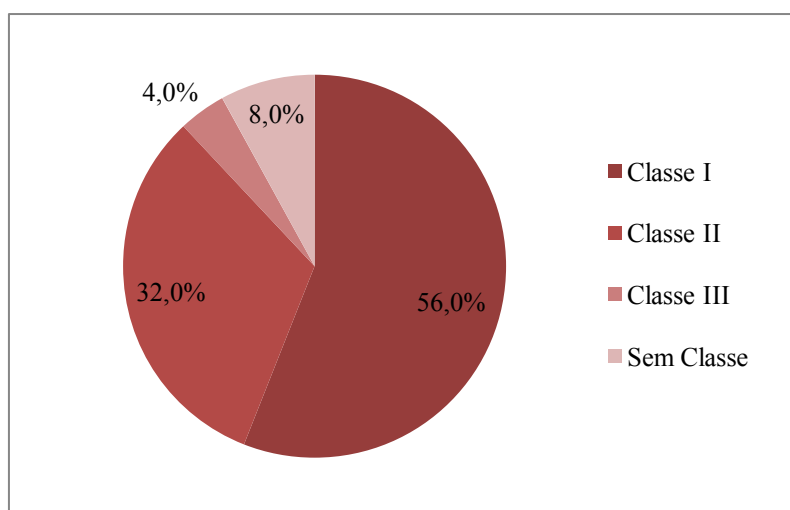


Figura 8.1: Atribuição de classes de qualidade pela norma italiana (em percentagem)

Por esta norma se destinar à análise *in situ* de madeira antiga, existe uma maior tolerância em termos de limitação de defeitos quando em comparação com normas aplicadas a madeira nova. Isto permite que os resultados obtidos com a avaliação se aproximem mais da realidade presente no local, em que grande parte da estrutura de madeira apresenta boas condições de utilização.

Porém, é importante salientar que os valores resistentes apresentados pela normalização não foram obtidos a partir da análise de madeira de pinho nacional, sendo este um dos aspectos que pode influenciar os resultados e condicionar as conclusões apresentadas.

9. Conclusões e esclarecimentos finais

Este capítulo engloba as principais conclusões obtidas ao longo da realização do trabalho. Além das conclusões apresentadas, serão indicados os objectivos que foram cumpridos bem como as condicionantes que afectaram o resultado final do estudo. Como complemento ao estudo realizado, elaborou-se um sub-capítulo destinado à apresentação de propostas de desenvolvimento futuro deste trabalho.

9.1. Conclusões

A execução do trabalho foi desenvolvida em duas fases: uma primeira fase com fundamento teórico através do levantamento do estado da arte e uma segunda fase prática com a análise *in situ* do caso de estudo. Assim, a realização das duas fases revelaram-se essenciais para atingir o objectivo principal do trabalho: aplicação de técnicas de inspecção e diagnóstico e ensaios não destrutivos a estrutura de madeira de um caso prático. A fase teórica funcionou como uma etapa propedêutica que contribuiu para o sucesso da fase subsequente.

A avaliação realizada ao longo do trabalho permitiu concluir que face às características encontradas *in situ*, se trata de um edifício com uma qualidade em termos de construção e materiais utilizados acima da média. Este facto tem especial destaque visto que o edifício apresenta mais de um século de idade e nas zonas de estudo não é possível registar a presença de degradação biológica severa que possa provocar a insegurança estrutural. Face ao exposto no **Capítulo 5.3**, verifica-se a presença de degradação pontual em que foram devidamente identificados os agentes causadores da mesma. Na maioria dos casos, verificou-se a degradação por caruncho (grande e pequeno), térmitas e excepcionalmente por fungo de podridão. Sabe-se que a degradação biológica é a causa da maioria da degradação da madeira e trata-se de um tema bastante estudado e divulgado, o mesmo não acontece com os métodos de inspecção e diagnóstico. Actualmente, já se observa o aumento do conhecimento do tema, mas ainda assim, existe um longo caminho a percorrer neste campo, para que os ensaios e as suas potencialidades sejam desenvolvidas e correctamente interpretados pelos técnicos. No caso da madeira, estamos perante um material anisotrópico e heterogéneo, características que tal como a espécie, influenciam directamente os resultados obtidos.

Neste estudo, foi interessante estimar a secção residual dos elementos através do desconto da percentagem de madeira consumida pelos insectos. Desta forma é possível quantificar a verdadeira secção que contribui para a resistência estrutural, facto verificado para o pavimento no **Capítulo 6**.

Esta análise permitiu a verificação da segurança à flexão simples das vigas do pavimento. Contudo, caso se verifique a progressão do ataque e a consequente redução da secção dos elementos, verificar-se-á a não conformidade com o estabelecido no Eurocódigo 5, o que indica a necessidade de aplicação de medidas preventivas e de tratamento adequadas ao tipo de agente xilófago presente de modo a evitar a insegurança estrutural.

A utilização de meios não destrutivos permitiu estimar a resistência à perfuração. Associado aos resultados registados, foi possível estimar a massa volúmica do material, segundo as conclusões do estudo realizado por Henriques (2011). Comparando o aspecto da madeira analisada e comparando com a massa volúmica obtida, verifica-se que existe grande probabilidade de se tratar de madeira da espécie de Pinho Bravo ou Casquinha.

É importante salientar que devido ao carácter académico do trabalho a avaliação apenas incluiu ensaios não destrutivos. Noutra contexto, a inspecção deveria ser complementada com outro tipo de campanhas de ensaios, incluindo ensaios laboratoriais e destrutivos, para possibilitar a comparação e confirmação dos resultados.

Este trabalho permitiu evidenciar a importância da inspecção visual como método de inspecção e diagnóstico. Trata-se de um método fundamental que auxilia e suporta os dados resultantes da realização de ensaios destrutivos ou não destrutivos. Para além disso, a inspecção visual possibilita a caracterização pormenorizada do local em estudo, é o caso da Classificação visual proposta pela norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual). Esta revelou-se uma norma muito completa contemplando todas as características do material (nós, fio, taxa de crescimento, fendas, descaio, empenos, bolsas de resina e casca inclusa, presença de medula e degradação biológica), apesar de por vezes afectar a análise *in situ* tendo em conta as condicionantes do local. A norma permitiu a classificação da qualidade do material existente no local, facultando algumas propriedades nomeadamente: resistência à compressão, tracção, flexão, corte, módulo de elasticidade, módulo de distorção e massa volúmica. Verificou-se que apesar do bom estado de conservação das peças analisadas, a maioria é excluída da Classe E (Especial) e EE (Especial para estruturas) por apresentar degradação biológica, segundo os parâmetros referidos na norma. A classificação visual revelou-se um método de inspecção de carácter subjectivo que se encontra directamente relacionado com a experiência do técnico. A análise executada à estrutura presente no trabalho não é suficiente para a realização de um parecer global sobre o estado de conservação do edifício, até porque se resume apenas a três locais limitados. Contudo estabelece as principais directrizes que devem constar numa intervenção de inspecção e diagnóstico, cuja aplicação se refletiu rigorosamente na avaliação dos três locais: pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim.

Este trabalho também possibilitou a realização da Classificação visual segundo a norma italiana UNI 11119:2004. Esta norma revelou-se de fácil interpretação e a sua aplicação destacou-se pela simplicidade e objectividade, resultando isto num processo rápido mas de elevado interesse em termos de classificação mecânica do material em estudo.

Assim, as diferenças entre as duas normas são visíveis, sendo distintos os fins a que se destinam, tendo em conta que a norma portuguesa se aplica a madeira nova e a norma italiana a madeira antiga. Contudo o intuito da aplicação das duas normas não passa pela sua comparação mas sim por estudar as suas diferenças ao nível de aplicação e limites impostos. No caso da norma portuguesa esta destina-se somente a madeira de Pinho Bravo, tendo deste modo um carácter mais específico. Por outro a norma italiana pode ser aplicada a várias espécies de madeira, demonstrando assim uma maior adaptabilidade.

Pela análise do **Quadro 9.1** verifica-se que a norma italiana atribui melhores resultados em termos de qualidade da madeira avaliada, quando em comparação com a norma portuguesa.

Quadro 9.1: Resultados obtidos com a classificação visual (norma portuguesa e italiana)

Norma portuguesa		Norma italiana	
NP 4305:1995		UNI 11119:2004	
Classe EE	12%	Classe I	56,0%
Classe E	36%	Classe II	32,0%
		Classe III	4,0%
Sem Classe	52%	Sem Classe	8,0%

Pelo exposto, admite-se que os resultados apresentados pela norma italiana reflitam com melhor veracidade a realidade do sistema estrutural avaliado. Porém, num futuro estudo e aplicação da norma NP 4305:1995, recomenda-se a sua adaptação no caso de se tratar de uma análise referente a madeira antiga. Isto porque, como a norma se refere à classificação de madeira nova, quando aplicada a madeira antiga, a avaliação torna-se demasiado rigorosa e desvaloriza grande parte das propriedades resistentes do material, facto verificado com a realização do presente trabalho.

A formulação de uma norma portuguesa de classificação visual aplicada a madeira antiga constituiria uma mais-valia para os processos de inspecção e diagnóstico no ramo, tendo em conta o elevado volume de construção com estrutura em madeira presente no território nacional.

9.1.1. Objectivos atingidos e condicionantes

Com a realização deste trabalho foi possível atingir os objectivos seguidamente apresentados:

- Conhecimento dos métodos e materiais construtivos utilizados na época Pombalina;

- Abordagem de algumas propriedades da madeira como material de construção, incluindo as suas principais potencialidades e inconvenientes de utilização, tendo em conta que se trata de um material muitas vezes desvalorizado quando comparado com outros de aplicação mais recente (betão e aço);
- Introdução à metodologia de inspecção, permitindo o início do estudo da área de Engenharia Civil destinada à inspecção e diagnóstico de estruturas, incluindo o seu faseamento e métodos de ensaio;
- Estudo dos métodos e equipamentos de ensaio usualmente utilizados nas campanhas de inspecção, nomeadamente: inspecção visual, Humidímetro, Resistógrafo e Pilodyn. Para além disso, possibilitou a utilização dos equipamentos e interpretação dos resultados obtidos;
- Avaliação da degradação biológica presente nas peças dos locais de estudo e discriminação das características dos agentes xilófagos detectados (ciclo de vida, desenvolvimento e aspecto de degradação provocado na madeira);
- Análise de alguma normalização associada ao material de construção em estudo: a madeira, principalmente o Eurocódigo 5 (EN 1995:2004) e a norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual). O Eurocódigo 5 permitiu a verificação da segurança do pavimento à flexão simples, enquanto que a norma NP 4305:1995 possibilitou a classificação em termos de qualidade de todos os elementos presentes nas três zonas em estudo;
- Avaliação do estado de conservação geral das zonas de estudo através da comparação dos resultados obtidos com os ensaios realizados *in situ*, avaliação estrutural e aplicação da classificação visual;

Contudo, apesar dos objectivos atingidos, o trabalho desenvolvido apresenta algumas limitações que influenciaram directamente os resultados obtidos. Seguidamente apresentam-se algumas das condicionantes verificadas:

- Ausência do conhecimento da espécie exacta da madeira em causa e inexperiência na utilização dos equipamentos;
- A metodologia de ensaios deveria abranger todos os elementos degradados, o que não se verificou. Para além disto, o número de ensaios realizados revelou-se, por vezes, insuficiente, visto que seria necessária mais informação para a confirmação dos resultados obtidos;

- Inacessibilidade a determinados locais, como por exemplo: aos cantos inferiores e topos das vigas, assim como a alguns cantos superiores de elementos da cobertura dos arrumos;
- Não foram realizadas todas as verificações de segurança indicadas no Eurocódigo 5 (EN 1995:2004), tendo o estudo apenas se focado na resistência à flexão simples das vigas do pavimento. Para além disso, as restantes zonas analisadas (cobertura dos arrumos e lanternim) também deveriam ser sujeitas a uma avaliação de comportamento estrutural.

9.2. Propostas de desenvolvimento futuro

Tendo em conta os resultados e conclusões obtidas, apresentam-se algumas propostas de desenvolvimento futuro que poderão enriquecer e dar seguimento ao estudo presente neste trabalho:

- Aplicação da norma NP 4305:1995 (Madeira serrada de pinho bravo para estruturas - Classificação visual) a peças de madeira novas (sãs) e antigas (com defeitos), com o objectivo de comparar resultados e reformular e adaptar a normalização a estruturas antigas de madeira;
- Comparação da normalização de inspecção visual existente em Portugal com a regulamentação de outros países, de modo a comparar os parâmetros abordados e a metodologia de avaliação, bem como, os resultados da sua aplicação;
- Realização de métodos de inspecção e diagnóstico destrutivos, laboratoriais e outros não destrutivos (como por exemplo: georradar, ultra-sons, termografia, entre outros) que complementem o presente estudo;
- Verificação estrutural segundo o Eurocódigo 5 (EN 1995:2004), tendo em conta as condições locais e esforços instalados para as zonas de intervenção;
- Formulação de uma norma portuguesa de classificação visual para madeira antiga aplicada *in situ*.

Referências

Referências bibliográficas

ABASOLO, Andrés – Patología y técnicas de intervención. Tomo 3 - Elementos estructurales. Cap.III – Recuperación de Estructuras de Madera, Recuperación de Estructuras Leñosas. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, UPM. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 1998

ANDRADE, Hugo – Caracterização de edifícios antigos. Edifícios “Gaioleiros”. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologias (FCT), 2011. Tese de mestrado

APPLETON, João – Reabilitação e reforço de estruturas de madeira. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2010

APPLETON, João – Reabilitação de edifícios antigos: Patologias e tecnologias de intervenção. 2ª ed. Lisboa: Edições Orion, 2011. ISBN: 972-8620-03-9

APPLETON, João; BAIÃO, Manuel – Inspecção de edifícios para diagnóstico do seu estado patológico, 2º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, 1994. pp. 233-242

APPLETON, João; POMBO, Rui – Reabilitação de estruturas de madeira (madeira em pavimentos, paredes e coberturas: soluções, patologias, consolidação e reforço. Appleton Square. 2012

ARRIAGA, Francisco; PERAZA, Fernando; ESTEBAN, Miguel; BOBADILLA, Ignacio; GARCIA, Francisco – Intervención en estructuras de madera. Madrid: AITIM, 2002. ISBN 84-87381-24-3.

ARRIAGA, Francisco ; BOBADILLA, Ignacio ; ESTEBAN, Miguel ; GARCIA, Francisco; PERAZA, Fernando – Intervención en estructuras de madera. Madrid: AITIM, 2002

BASTOS, João – Asnas Tradicionais de Madeira: Caracterização e Reforço. Aveiro: Universidade de Aveiro (UA), 2011. Tese de mestrado

BECKER, Heinrich – Die verbreitung des hausbockkafers *Hylotrupes bajulus* (L.) (Col., Cerambycidae). Prakt. Scadlingsbekaampfe.r Serville, 1979

BERRY, Robert – Remedial treatment of wood rot and insect attack in buildings. Watford: Building Research Establishment, 1994.

BONAMINI, Gabriele; NOFERI, Mariangela; TOGNI, Marco – Il manuale del legno strutturale. Vol. I. Roma: Mancosu Editore, 2001. ISBN: 8887017026 e ISBN-13: 9788887017021

-
- BRAGA, Maria – O terramoto de 1755: sua repercussão, a nível ideológico, em Portugal e no estrangeiro. História de Portugal: dos tempos pré-históricos aos nossos dias. Volume IX.1ª ed. Amadora: Edita Ediclube, 2004. ISBN: 972-719-277-7 (Volume IX) e ISBN: 972-719-268-8 (Obra completa)
- BRANCO, Jorge; SANTOS, Ana; CRUZ, Paulo – Asnas Tradicionais de Madeira: Evolução, Comportamento e Reforço com Materiais Compositos. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. 2010
- BRANCO, Fernando; BRITO, Jorge de – Diagnóstico e patologia de construções em madeira. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2012
- BRITO, Abílio – Fundações directas correntes: Processos de construção. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2004
- CACHIM, Paulo – Construção em madeira: A madeira como material de construção. Porto: Publindústria, 2007. ISBN: 978-972-8953-14-0
- CARVALHO, Albino de – Madeiras portuguesas: Estrutura Anatómica, Propriedades, Utilizações. Vol. I e II. Direcção Geral de Florestas, 1996
- CASELLI, Giorgio, MANNUCI, Massimo – La Copertura monumentale della gipsoteca dell'istituto d'arte do Firenze, all'interno delle scuderie reali della pace in Boboli: storia, indagini sullo stato de conservazione e interventi di restauro. Vol. II *International Conference Conservation of Historic Wooden Structures*. Florence: Collegio degli Ingegneri della Toscana, 2005
- CÓIAS, Vítor – Inspecção e ensaios na reabilitação de edificios. 1ª ed. Lisboa: IST Press, 2006. ISBN: 972-8469-53-5
- CÓIAS, Vítor – Reabilitação estrutural de edificios antigos. 2ª ed. Lisboa: Argumentum e GeCorpa, 2007
- COUTINHO, Joana – Madeiras. Sebenta da Unidade Curricular de Materiais de construção I. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1999
- COSTA, F. Pereira – 7: Pavimentos de madeira, Enciclopédia prática da construção civil. 3ª ed. Portugália Editora, 1971
- COSTA, F. Pereira – 10: Madeiramentos e telhados, Enciclopédia prática da construção civil. 3ª ed. Portugália Editora, 1971

COSTA, F. Pereira – 12: Tectos diversos, Enciclopédia prática da construção civil. 3ª ed. Portugália Editora, 1971

COSTA, F. Pereira – 26: Interiores e exteriores, Enciclopédia prática da construção civil. 3ª ed. Portugália Editora, 1971

CLAUSEN, Carol – Recognize, remove and remediate mold and mildew. *2nd Annual Conference on Durability and Disaster Mitigation in Wood-Frame Housing*. Madison: Forest Products Society, 2000

CRUZ, Helena; MACHADO, José; NUNES, Lina – Problemas de conservação de madeira em edifícios. *2º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: LNEC, 1994

CRUZ, Helena; NUNES, Lina – Fungal degradation of wood in buildings. Microbial impact on building materials. Baneux (França), Ribas Silva Publications, 2003

CRUZ, Helena – Patologias, avaliação e conservação de estruturas de madeira. II Curso Livre Internacional de Património. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico. Fórum UNESCO Portugal. Lisboa: LNEC, 2004

CRUZ, Helena; NUNES, Lina – Madeira: Materiais de construção - Guia de utilização. Edição Arquitectura e vida, Engenharia e vida, 2005

CRUZ, Helena; NUNES, Lina – A madeira como material de construção. Lisboa: LNEC, 2008

CRUZ, Helena – Inspeção a linguagem das anomalias. Lisboa: LNEC, 2011

CRUZ, Helena – Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira [Em linha] 1ª Jornada de Materiais de Construção.2011 [Consult. 28 Março 2013]. Disponível em WWW: <URL: http://paginas.fe.up.pt/~jmc2011/wp-content/uploads/2011/03/Helena_Cruz.pdf>

CRUZ, Helena; YEOMANS, David; TSAKANIKI, Eleftheria – Guidelines for on-site assessment of historic timber structures. COST IE0601 – Task Group on timber structures, 2011

DIAS, Tiago – Pavimentos de madeira em edifícios antigos. Diagnóstico e intervenção estrutural. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2008. Tese de mestrado

Eastbank – www.eastbank.pt

ESTEVES, Lília – A Dendrocronologia aplicada às obras de arte. Instituto Português da Conservação e Restauro, 2003

- FAGGIANO, Beatrice; GRIPPA, Maria; MARZO, Anna; MAZZOLANI, Federico – Combined non-destructive and destructive tests for the mechanical characterization of old structural timber elements, *3rd International Conference on Advances in Experimental Structural Engineering*. Italy, 2009
- FARIA, José – Reabilitação de estruturas de madeira. 2as Jornadas de Engenharia Civil. Guarda: Instituto Politécnico da Guarda, 2004
- FARINHA, J.S. Brazão – O Metropolitano e a Baixa de Lisboa: Condições Geotécnicas e Históricas. N.º1 Caderno do Metropolitano, 1995
- FARINHA, Manuel – Tipologias de edifícios. Unidade curricular de Reabilitação de edifícios e monumentos. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2012
- FEIO, Artur – Inspection and diagnosis of historical timber structures: NDT correlations and structural behavior. Braga: Universidade do Minho (Escola de Engenharia), 2006. Tese de doutoramento
- FEIO, António; LOURENÇO, Paulo – Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos”, Encontro sobre a madeira e suas aplicações nobres - Bem utilizar a madeira; Universidade do Minho, INETI, 2005
- FRANÇA, João – A reconstrução de Lisboa e a Arquitectura Pombalina. 3ª ed. Lisboa: Biblioteca Breve, 1989
- FRANCO, Sónia – Proposta de atribuição de propriedades mecânicas a elementos estruturais de madeira por inspecção visual *in situ*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2008. Tese de mestrado
- FREITAS, Vasco; SOUSA, Marília – Reabilitação de edifícios - Do diagnóstico à conclusão da obra, *2º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: LNEC, 2003
- GOMES, Rafael – Sistema estrutural de edifícios antigos de Lisboa - Edifícios “Pombalinos” e os Edifícios “Gaioleiros”. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2011
- GREEN, David; WINANDY, Jerrold; KRETSCHMANN, David – Chapter 4 - Mechanical properties of wood. Wood handbook - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison: Department of Agriculture (Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999
- HENRIQUES, Maria – A madeira e seus derivados. Sebenta de apoio à disciplina de Materiais de Construção II. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2005
- HENRIQUES, Maria – Tratamento e consolidação de madeira de pinho degradada em elementos estruturais de edifícios antigos. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2011. Tese de doutoramento

HENRIQUES, Maria; NUNES, Lina; PALMA, Pedro; MACHADO, José; BRITO, Jorge de – Degradação por Caruncho grande em estruturas de madeira antigas: apresentação de um caso de estudo; Congresso Construção, 2007

HENRIQUES, Dulce; NUNES, Lina; CRUZ, Helena; BRITO, Jorge de – Diagnosis of old timber structures. The case of the future Wine Museum of Bucelas. 2008

HIGHLEY, Terry – Bioteriation of wood. Chafter 13.1999

HILDITCH, E. Austin – The enemies of timber. Somerset (U.K.): Edit. Cuprinol Limited, 1983

Jornal Diário de Notícias, 2007 [Consult. 30 Agosto 2013]

JÚNIOR, Jerónimo – Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2006. Tese de mestrado

LEITÃO, Augusto – Curso elementar de construções. Elaborado segundo o programa da escola central da arma de engenharia. Lisboa: Edição da Imprensa Nacional, 1896

LNEC – Ficha de características - Pinho bravo, *Pinus Pinaster Ait.* Séries Documentação de materiais elementos de construção, 1963

LNEC – Ficha M1: Especificação de madeiras para estruturas. Série Madeira para construção, 1997

LNEC – Ficha M2: Pinho bravo para estruturas. Série Madeira para construção, 1997

LNEC – Ficha M4: Casquinha. Série: Madeira para construção, 1997

LNEC – Evolução das tipologias construtivas em Portugal. Núcleo de engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas. LNEC, Lisboa, 2005

LOPES, Miguel – Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2007. Tese de mestrado

LOPES, Mário; BENTO, Rita – A Construção Pombalina. Curso de Verão “História e Ciência da Catástrofe”: Instituto de História Contemporânea. Lisboa: 2010

MACHADO, José; CRUZ, Helena – Proposta para o estabelecimento de classes de qualidade para a madeira de pinheiro bravo para estruturas. Informação técnica ITES 9. Lisboa: LNEC, 1993

-
- MACHADO, José; CRUZ, Helena – Avaliação do estado de conservação de estruturas de madeira. Determinação do perfil densidade por métodos não destrutivos. n.º42. Lisboa: Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, 1997
- MACHADO, José; CRUZ, Helena; NUNES, Lina – Inspecção de elementos estruturais de madeira. Selecção das técnicas não-destrutivas a aplicar *in situ*. Lisboa: Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de estruturas (REPAR), 2000
- MACHADO, José – Avaliação da variação das propriedades mecânicas de Pinho Bravo (*Pinus Pinaster Ait.*) por meio de ultra-sons. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa (Instituto Superior de Agronomia), 2003. Tese de doutoramento
- MACHADO, José; PALMA, Pedro; SIMÕES, Sofia – Ultrasonic indirect method for evaluating clear wood strength and stiffness. Non-Destructive Testing in Civil Engineering. France, 2009
- MARTINS, João; ARAÚJO, Jorge – Madeiras. Folhas de apoio à disciplina de Materiais de Construção: Série Materiais. 2ª ed. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2005
- MARTINS, Sérgio – Estruturas de Madeira – Inspecção e Diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo. Braga: Universidade do Minho (Escola de Engenharia), 2009. Tese de mestrado
- MARTINS, Tomás – Dimensionamento de estruturas em madeira: coberturas e pavimentos. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2010. Tese de mestrado
- MASCARENHAS, Jorge – Sistemas de construção V: O edifício de rendimento da Baixa Pombalina de Lisboa. 2ª ed. Lisboa: Edição Livros horizonte, 2005. ISBN: 978-972-24-1338-4
- MATEUS, João Mascarenhas – Baixa Pombalina: 250 anos em imagens. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa, 2004
- MATEUS, Tomás – M179: Bases para o dimensionamento de estruturas de madeira. Lisboa: LNEC, 1961
- MATEUS, Tomás – M500: O emprego da madeira de pinho bravo em estruturas. Lisboa: LNEC, 1978
- MENDONÇA, Joaquim – História universal dos terremotos que tem havido no mundo de que há notícia, desde a sua criação até o século presente. Oficina de António Vicente da Silva. Lisboa, 1758
- MESQUITA, Carlos – Segurança sísmica das construções: Informação de suporte com recurso a ensaios não destrutivos *in situ*, Seminário de reabilitação sísmica de edifícios, Ordem dos Engenheiros. Lisboa, 2011

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

MIRA, Diana – Análise do Sistema construtivo pombalino e recuperação de um edifício. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2007. Tese de mestrado

MIRANDA, Frederico – Caracterização dos edifícios pombalinos na Baixa de Lisboa. Lisboa: Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologias (FCT), 2011. Tese de mestrado

MOREIRA, Marina – Reabilitação de estruturas de madeira em edifícios antigos: Estudo de caso. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009. Tese de mestrado

MORESCHI, João – Propriedades tecnológicas das madeiras. Manual didáctico. Brasil: Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, 2005

NEPOMUCENO, Miguel – Ensaio não destrutivo em betão. Covilhã: Universidade da Beira Interior (UBI), 1999. Trabalho de Síntese

NOBRE, Tânia; NUNES, Lina; EGGLETON, Paul; BIGNELL, David – Distribution and genetic variation of *Reticulitermes* (Isoptera: Rhinotermitidae) in Portugal. *Heredity*, 96(1), 2006

NUNES, Lina; CRUZ, Helena; MACHADO, José – Patologias e reabilitação de estruturas de madeira - Avaliação da degradação causada por agentes biológicos. *2ª Jornadas de Engenharia de Estruturas*. Lisboa: LNEC, 1990.

NUNES, Lina – The effect of boron-based wood preservatives on subterranean termites. UK: University of London, 1997. PhD Thesis

NUNES, Lina; NOBRE, Tânia – Controlo de térmitas subterrâneas em construções. Artigo n.º7. *Construção Magazine*. Porto, 2003

NUNES, Lina – Presença de térmitas na madeira aplicada na construção. Artigo n.º29. *Revista Pedra&Cal*, 2006

Observação boroscópica de cavidade e fendas – Oz: Diagnóstico, levantamento e controlo de qualidade em estruturas e fundações, Lda

PALAIA, Liliana; MONFORT, José; SÁNCHEZ, Rafael; GIL, Luisa; ÁLVAREZ, Ángeles; LÓPEZA, Vicente; TORMO, Santiago – Assessment of timber structures in service, by using combined methods of non-destructive testing together with traditional ones. *9th International Conference on NDT of Art*. Jerusalém, 2008

PAIVA, José; AGUIAR, José; PINHO, Ana – Guia Técnico de Reabilitação Habitacional (LNEC). Volume II. 1ª ed. Lisboa: Instituto Nacional de Habitação e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006. ISBN-13: 978-972-49-2081-8 e ISBN-10: 972-49-2081-X

- PALA, Helena – Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico:a madeira. Leiria: Escola superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, 2007
- PALAIA, Liliana – Structural Failure Analysis of timber Floors and Roofs in Ancient Buildings at Valencia (Spain). *ICOMOS IWC - XVI International Symposium*. Florence: Polytechnic University At Valencia: Icomos Spanish National Committee, 2007
- PEREIRA, Samuel – Avaliação experimental das principais propriedades mecânicas de peças estruturais em madeira. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009. Tese de mestrado
- PILODYN para Avaliação de Madeira *in situ* – Novas Tecnologias para a gestão agro-florestal e ambiente. Informação técnica, TerraGes
- PINHO, Fernando – Paredes de Edifícios Antigos em Portugal. 2ª ed. (CED 8). Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 2008
- PINTO, Alexandre – Soluções para execução pouco intrusiva de caves: Seminário Reabilitação Pouco Intrusiva e Valorização do Edificado Antigo. Ordem dos Arquitectos, 2011
- RABERG, Ulrika; EDLUND, Marie-Louise; TERZIEV, Nasko; LAND, Carl – Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe - an overview. *Journal of Wood Science*. Vol. 51, 2005
- RAMOS, Albino – Avaliação do comportamento mecânico da madeira. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2010. Tese de mestrado
- RAMOS, Luís; LOURENÇO, Paulo B. – Análise das Técnicas de Construção Pombalina e Apreciação do Estado de Conservação Estrutural do Quarteirão do Martinho da Arcada. Guimarães: Universidade do Minho (Escola de Engenharia), 2000
- RINN, Frank – Eine neue Methode zur Messung von Jahrringparametern. Physik-Diplomarbeit, Institut für Umweltp Physik, Universität Heidelberg. 85 Seiten, 1988
- RINN, Frank; SCHWEINGRUBER, Fritz; SCHAR, E. – Resistograph and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species. Volume 50, n.º 4, p.303-311. *Holzforschung*, Berlin, 1996
- ROBERT, Emerson; POLLOCK, David; KAINZ, James; FRIDLEY, Kenneth; MELEAN, David; ROSS, Robert – Non-destructive evaluation techniques for timber bridges. *5th World Conference on*

Timber Engineering. Volume I. 1ª ed. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes, 1998. ISBN 2-88074-380-X

ROCHA, Margarida – Comportamento sísmico de edifícios pombalinos. Lisboa: Universidade Católica Portuguesa (Faculdade de Engenharia), 2008. Tese de mestrado

RODEIA, João – Sete paragens na Lisboa «iluminada» do século XVIII. Ciclo “Baixa depois da Baixa” Ordem dos Arquitectos [Em linha]. (2006) p.1. [Consult. 22 Maio 2013]. Disponível em WWW: <URL: http://www.oasrs.org/media/files/dossiers_9_baixa_depois_baixa.pdf>

ROSS, Robert, WANG, Xiping, MATTSON, James, ERICKSON, John; FORSMAN, John; GESKE, Earl; WEHR, Michael – Comparison of several nondestructive evaluation techniques for assessing stiffness and MOE of small diameter logs. *12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*. Sopron: University of Western Hungary, 2000

SANDOZ, Jean – Grading of construction timber by ultrasound. Lausanne: Wood Science and Technology (Springer Verlag), 1989

SANTOS, Diogo – Processos de construção na reabilitação estrutural de edifícios antigos. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), 2013. Tese de mestrado

SANTOS, Hugo – Validação da segurança estrutural de pavimentos existentes em madeira. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2009. Tese de mestrado

SANTOS, José; DUARTE, CARLOTA; SANTOS, Joana; PESTANA, Luís – Bem utilizar madeiras portuguesas na construção/reabilitação. *CIMAD 11 (1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção)*. Coimbra, 2011

SEGURADO, João – Trabalhos de carpintaria civil. Biblioteca de Instrução Profissional, Lisboa, 1942

SILVA, Joel – Comportamento mecânico de madeira de carvalho português. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 2011. Tese de mestrado

SILVA, Vítor – Apoio à modelação estrutural por métodos não destrutivos de paredes de travamento dos edifícios “em gaiola” da baixa pombalina de Lisboa, *2º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 1994

SOUSA, Francisco Pereira de – O terramoto do 10 de Novembro de 1755 em Portugal. Volume III, Tipografia do Comércio, 1928

TEIXEIRA, Maria – Reabilitação de edifícios pombalinos: Análise experimental de paredes de frontal. Lisboa: Instituto Superior Técnico (IST), 2010. Tese de mestrado

TSOUMIS, George – Science and Technology of Wood. Structure, Properties, Utilization. Van Nostrand Reinhold, 1991

VALE, Teresa; FERREIRA, Maria – Palacete Ribeiro da Cunha / Palacete Mourisco. Sistema de informação para o património arquitectónico (SIPA). [Em linha]. 2002. [Consult. 30 Agosto 2013]. Disponível em WWW: <URL: http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=15322>

VÁSQUEZ, Manuel – Case study: assessment of the mechanical properties of an old “Pitch pine” timber structure. Spain: Centro de Innovacion y Servicios Tecnologicos de la Madera, 2009

ZOMBORI, Balazs – *In situ* Nondestructive Testing of Built in Wooden Members, *NDT.net*, Volume 6, N.º 3. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2001

Referências normativas

EN 335-2:2006 – Durabilidade da madeira e de produtos derivados da madeira. Definição das classes de risco. Parte 2: Aplicação à madeira maciça

EN 338:2009 – Structural timber - Strength classes. Bruxelas: CEN, 2009

EN 14081-1:2005 – Timber structures. Strength graded structural timber with rectangular cross section. Part 1: General requirements. Bruxelas: CEN, 2005

Eurocódigo 0 (NP EN 1990:2009): Bases para o projecto de estruturas Eurocódigo 1

Eurocódigo 1 (NP EN 1991:2009): Acções em estruturas

Eurocódigo 5 (EN 1995:2004): Design of timber structures

ISO 15686-1:2011 – Buildings and constructed assets. Service life planning. Part 1: General principles and framework, Suíça

ISO 13822:2010 – Bases for design of structures – Assessment of existing structures, Suíça

NP 4305:1995 – Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas. Classificação Visual. Lisboa: IPQ, 1995

NP EN 1912:2013 – Madeira para estruturas. Classes de resistência. Atribuição de classes de qualidade e espécies. Lisboa: IPQ, 2013

UNI 11119 – Load-bearing structures – On site inspections for the diagnosis of timber members. Ente Nazionale Italiano di Unificazione, 2004

Anexos

Capítulo 5. Inspeção e diagnóstico das zonas de estudo

5.A: Resultados obtidos com o ensaio Pilodyn.....	173
5.A.1: Pavimento	173
5.A.2: Cobertura (arrumos)	174
5.A.3: Cobertura (lanternim)	175

5.A: Resultados obtidos com o ensaio Pilodyn

5.A.1: Pavimento

Número do elemento	Número do ensaio resistográfico	Pilodyn			
		Número do ensaio	Medição (mm)	Valor médio parcial	Valor médio final
Viga 8	R1	1	18	18,4	18,45
		2	18		
		3	18		
		4	22		
		5	16		
	R2	6	30 ¹	18,5	
		7	20		
		8	18		
		9	16		
		10	20		
Viga 13	R3	11	16	18	18,4
		12	18		
		13	18		
		14	18		
		15	20		
	R4	16	20	18,8	
		17	17		
		18	18		
		19	19		
		20	20		
Viga 6	R5	21	16	17,2	17,2
		22	16		
		23	18		
		24	16		
		25	20		

¹ Medição excluída da análise, por se apresentar afastada da média obtida pelos restantes ensaios de Pilodyn

5.A.2: Cobertura (arrumos)

Cobertura - Arrumos					
Número do elemento	Número do ensaio resistográfico	Pilodyn			
		Número do ensaio	Valores medidos	Valor médio parcial	Valor médio final
3	R1	1	16	17,2	17,2
		2	18		
		3	16		
		4	18		
		5	18		
1	R2	6	20	18,4	18,4
		7	18		
		8	16		
		9	18		
		10	20		
4	R3	11	18	18,4	18,4
		12	18		
		13	20		
		14	20		
		15	16		

5.A.3: Cobertura (lanternim)

Cobertura - Lanternim					
Número do elemento	Número do ensaio resistográfico	Pilodyn			Valor médio final
		Número de ensaio	Valores medidos	Valor médio parcial	
5	R1	1	14	17,2	18
		2	18		
		3	18		
		4	18		
		5	18		
	R3	11	18	18,8	
		12	20		
		13	18		
		14	18		
		15	20		
1	R2	6	18	16,4	
		7	16		
		8	14		
		9	16		
		10	18		
4	R4	16	18	16	
		17	16		
		18	18		
		19	14		
		20	14		

Capítulo 6. Avaliação do comportamento estrutural do pavimento

6.A: Verificação das vigas à resistência por flexão simples	179
6.A.1: Secção inicial	179
6.A.2: Secção actual	180

6.A: Verificação das vigas à resistência por flexão simples

6.A.1: Secção inicial

Elemento	b (m)	h (m)	L (m)	ppd (kN/m)	rev _d (kN/m)	sob _d (kN/m)	G _d (kN/m)	Q _d (kN/m)	Msd (kN.m) devido a C _d	Msd (kN.m) devido a Q _d	w (m ³)	α _{St} (kN/m ³) devido a C _d	α _{St} (kN/m ³) devido a Q _d	α _{St} total / k _{mod}	f _{m,k} /f _m	Conclusão	Relação entre a tensão instalada (gsd total) e capacidade resistente (f _{m,k})
1	0,090	0,220	1,980	0,11	0,23	2,00	0,47	3,00	0,229	1,470	0,0007	316,058	2025,000	3058,013	13846,154	Verifica	0,22
2	0,093	0,215	1,980	0,12	0,23	2,00	0,47	3,00	0,230	1,470	0,0007	321,298	2051,885	3100,354	13846,154	Verifica	0,22
3	0,090	0,220	1,980	0,11	0,23	2,00	0,47	3,00	0,229	1,470	0,0007	316,058	2025,000	3058,013	13846,154	Verifica	0,22
4	0,093	0,225	1,980	0,12	0,23	2,00	0,48	3,00	0,234	1,470	0,0008	297,921	1873,548	2838,470	13846,154	Verifica	0,21
5	0,085	0,216	2,200	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,276	1,815	0,0007	418,271	2746,006	4129,625	13846,154	Verifica	0,30
6	0,093	0,222	3,100	0,12	0,23	2,00	0,47	3,00	0,570	3,604	0,0008	746,723	4717,555	7141,483	13846,154	Verifica	0,52
7	0,089	0,220	3,350	0,11	0,23	2,00	0,47	3,00	0,647	4,158	0,0007	900,693	5792,094	8741,272	13846,154	Verifica	0,63
8	0,110	0,210	3,890	0,13	0,23	2,00	0,49	3,00	0,935	5,675	0,0008	1155,900	7018,599	10699,749	13846,154	Verifica	0,77
9	0,090	0,220	3,950	0,11	0,23	2,00	0,47	3,00	0,913	5,831	0,0007	1257,855	8059,143	12170,353	13846,154	Verifica	0,88
10	0,087	0,220	3,880	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,871	5,645	0,0007	1241,661	8044,172	12124,651	13846,154	Verifica	0,88
11	0,085	0,210	3,690	0,10	0,23	2,00	0,45	3,00	0,771	5,106	0,0006	1234,018	8172,929	12272,839	13846,154	Verifica	0,89
12	0,084	0,220	3,220	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,593	3,888	0,0007	875,825	5738,120	8632,339	13846,154	Verifica	0,62
13	0,107	0,210	2,815	0,13	0,23	2,00	0,49	3,00	0,485	2,972	0,0008	616,068	3778,478	5749,879	13846,154	Verifica	0,42
14	0,085	0,215	1,727	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,170	1,118	0,0007	259,773	1707,935	2567,874	13846,154	Verifica	0,19

Secção Inicial

6.A.2: Secção actual

Elemento	b (m)	h (m)	L (m)	ppd (kN/m)	revd (kN/m)	sobd (kN/m)	Gd (kN/m)	Qd (kN/m)	Msd (kN.m) devido a Gd	Msd (kN.m) devido a Qd	w (m ³)	σ_{id} (kN/m ²) devido a Gd	σ_{id} (kN/m ²) - σ_{id} (kN/m ²) devido a Qd	σ_{sd} total / kmod	$f_{m,k}/\gamma_M$	Conclusão	Relação entre a tensão instalada (σ_{sd} total) e capacidade resistente ($f_{m,k}$)
3	0,085	0,217	1,980	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,224	1,470	0,0007	336,173	2203,812	3315,053	13846,154	Verifica	0,24
8	0,092	0,204	3,890	0,11	0,23	2,00	0,46	3,00	0,870	5,675	0,0006	1364,002	8892,698	13389,209	13846,154	Verifica	0,97
9	0,083	0,217	3,950	0,10	0,23	2,00	0,45	3,00	0,886	5,851	0,0007	1359,972	8982,126	13494,278	13846,154	Verifica	0,97
10	0,089	0,218	3,880	0,11	0,23	2,00	0,47	3,00	0,875	5,645	0,0007	1241,608	8008,349	12079,783	13846,154	Verifica	0,87
11	0,078	0,210	3,690	0,10	0,23	2,00	0,44	3,00	0,751	5,106	0,0006	1310,592	8906,397	13317,317	13846,154	Verifica	0,96
13	0,102	0,210	2,815	0,12	0,23	2,00	0,48	3,00	0,476	2,972	0,0007	635,405	3963,698	6013,631	13846,154	Verifica	0,43

Capítulo 7. Aplicação da classificação visual segundo a norma

NP 4305:1995

7.A: Atribuição de classes de qualidade – Nós	183
7.A.1: Pavimento	183
7.A.2: Pavimento (continuação)	184
7.A.3: Pavimento (continuação)	185
7.A.4: Cálculo justificativo (pavimento).....	186
7.A.5: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)	187
7.A.6: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)	188
7.A.7: Cobertura (arrumos)	188
7.A.8: Cálculo justificativo (cobertura dos arrumos).....	188
7.A.9: Cobertura (lanternim)	189
7.A.10: Cálculo justificativo (cobertura do lanternim)	189
7.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	190
7.C: Atribuição de classes de qualidade – Taxa de crescimento (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	191
7.D: Atribuição de classes de qualidade – Fendas	192
7.D.1: Pavimento	192
7.D.2: Cobertura (arrumos)	193
7.D.3: Cobertura (lanternim)	193
7.E: Atribuição de classes de qualidade – Descaio	194
7.E.1: Importância do descaio (pavimento)	194
7.E.2: Importância do descaio (pavimento – continuação)	195
7.E.3: Importância do descaio (cobertura dos arrumos).....	196
7.E.4: Importância do descaio (cobertura do lanternim).....	196
7.E.5: Classes de qualidade	197
7.F: Atribuição de classes de qualidade – Empeno	197
7.G: Fichas de classificação visual	198

7.G.1: Pavimento	198
7.G.2: Cobertura (arrumos)	216
7.G.3: Cobertura (lanternim)	220
7.H: Atribuição de classe de qualidade – Resumo	225
7.H.1: Pavimento	225
7.H.2: Cobertura (arrumos)	226
7.H.3: Cobertura (lanternim)	227

7.A: Atribuição de classes de qualidade – Nós

7.A.1: Pavimento

Elemento	Nós								
	Elipse		Circular	Agrupamento	Norma NP4305:1995				
	Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		KAR marginal (maior)	KAR total	Classe parcial	Classe final	
1	N1.1	0,034	0,025		Isolado	0,000	0,035	Classe E	Classe E
	N1.2	0,031	0,030		Isolado	0,017	0,028	Classe E	
2	N2.1			0,038	Isolado	0,000	0,044	Classe E	Classe E
	N2.2			0,040	Agrupados	0,009	0,091	Classe E	
	N2.3	0,038	0,030						
	N2.4	0,045	0,043		Isolado	0,000	0,053	Classe E	
	N2.5	0,045	0,038		Isolado	0,001	0,054	Classe E	
3	N3.1			0,040	Isolado	0,082	0,182	Classe EE	Classe E
	N3.2	0,050	0,040		Isolado	0,000	0,237	Classe E	
	N3.3	0,080	0,060						
	N3.4	0,050	0,040		Isolado	0,082	0,182	Classe EE	
4	N4.1	0,037	0,018		Agrupados	0,131	0,227	Classe E	Classe E
	N4.2			0,030					
	N4.3			0,030	Agrupados				
	N4.4			0,020					
5	N5.1	0,040	0,015		Isolado	0,126	0,137	Classe EE	Classe EE
	N5.2			0,002	Isolado	0,013	0,069	Classe EE	
	N5.3	0,035	0,020		Isolado	0,112	0,112	Classe EE	
	N5.4	0,030	0,005		Isolado	0,126	0,137	Classe EE	
	N5.5			0,001	Isolado	0,013	0,069	Classe EE	
	N5.6			0,020	Isolado	0,112	0,112	Classe EE	

7.A.2: Pavimento (continuação)

Elemento		Nós							Classe final
		Elipse		Circular	Agrupamento	Norma NP4305:1995			
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		KAR marginal (maior)	KAR total	Classe parcial	
6	N6.1	0,030	0,025		Isolado	0,001	0,096	Classe EE	Classe E
	N6.2			0,015	Agrupados	0,048	0,227	Classe E	
	N6.3	0,009	0,006						
	N6.4			0,020	Agrupados	0,048	0,227	Classe E	
	N6.5			0,020					
	N6.6	0,020	0,010		Isolado	0,001	0,096	Classe EE	
7	N7.1			0,030	Isolado	0,090	0,096	Classe EE	Classe EE
	N7.2			0,020	Isolado	0,066	0,068	Classe EE	
	N7.3			0,010	Isolado				
	N7.4			0,020	Isolado	0,107	0,113	Classe EE	
8	N8.1	0,080	0,040		Isolado	0,023	0,048	Classe E	Classe E
	N8.2			0,030	Isolado	0,000	0,035	Classe E	
	N8.3			0,030	Isolado	0,000	0,035	Classe E	
	N8.4			0,050	Isolado	0,106	0,143	Classe E	
	N8.5			0,030	Isolado	0,000	0,035	Classe E	
9	N9.1	0,100	0,060		Isolado	0,023	0,315	Classe E	Classe E
	N9.2	0,045	0,030		Isolado	0,102	0,102	Classe EE	
	N9.3	0,020	0,005		Isolado				
	N9.4	0,065	0,050		Isolado	0,025	0,313	Classe E	
10	N10.1	0,055	0,030		Isolado	0,029	0,050	Classe E	Classe E
	N10.2	0,030	0,025		Isolado	0,008	0,011	Classe E	
	N10.3			0,010	Isolado	0,006	0,011	Classe E	
	N10.4	0,030	0,010		Isolado	0,006	0,034	Classe E	
	N10.5			0,020	Agrupados	0,013	0,023	Classe E	
	N10.6	0,050	0,020			0,000	0,043	Classe E	
	N10.7	0,030	0,030		Agrupados	0,019	0,034	Classe E	
	N10.8	0,040	0,020			0,000	0,036	Classe E	

7.A.3: Pavimento (continuação)

Elemento		Nós							Classe final	
		Elipse		Circular	Agrupamento	Norma NP4305:1995				
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		KAR marginal (maior)	KAR total	Classe parcial		
11	N11.1	0,100	0,050		Isolado	0,003	0,094	Classe E	Classe E	
	N11.2			0,020	Agrupados	0,002	0,041	Classe E		
	N11.3			0,030						
	N11.4	0,040	0,030		Isolado	0,003	0,036	Classe E		
	N11.5			0,050	Isolado	0,000	0,053	Classe E		
	N11.6	0,040	0,020		Isolado	0,000	0,024	Classe E		
	N11.7			0,050	Agrupados	0,008	0,083	Classe E		
	N11.8			0,040						
	N11.9			0,040	Isolado	0,026	0,048	Classe E		
	N11.10			0,040	Isolado	0,003	0,048	Classe E		
	N11.11	0,060	0,050		Isolado	0,003	0,094	Classe E		
12	N12.1			0,035	Isolado	0,000	0,042	Classe E	Classe EE	
	N12.2			0,020	Isolado	0,000	0,022	Classe E		
13										
14	N14.1			0,040	Isolado	0,003	0,047	Classe E	Classe EE	
15	N15.1			0,040	Isolado	0,000	0,081	Classe E	Classe E	
	N15.2	0,035	0,020		Isolado	0,005	0,047	Classe E		
	N15.3			0,025	Isolado	0,004	0,050	Classe E		
	N15.4			0,020	Isolado	0,000	0,021	Classe E		
	N15.5			0,025	Isolado	0,000	0,051	Classe E		
	N15.6			0,055	Isolado	0,000	0,120	Classe E		
16	N16.1			0,025	Isolado	0,000	0,037	Classe E	Classe E	

7.A.4: Cálculo justificativo (pavimento)

Elemento	h	1/4*h	Área secção (m ²)	Medição		
				Área da maior zona marginal (m ²)	Área total ocupada pelos nós (m ²)	
1	N1.1	0,220	0,055	0,020	0,00000	0,00070
	N1.2				0,00033	0,00056
2	N2.1	0,215	0,054	0,020	0,00000	0,00088
	N2.2				0,00017	0,00181
	N2.3				0,00000	0,00105
	N2.4				0,00001	0,00107
	N2.5				0,00163	0,00360
3	N3.1	0,220	0,055	0,020	0,00000	0,00469
	N3.2				0,00163	0,00360
	N3.3				0,00275	0,00476
	N3.4				0,00275	0,00476
4	N4.1	0,225	0,056	0,021	0,00232	0,00252
	N4.2				0,00023	0,00127
	N4.3				0,00205	0,00206
	N4.4				0,00232	0,00252
5	N5.1	0,216	0,054	0,018	0,00023	0,00127
	N5.2				0,00205	0,00206
	N5.3				0,00232	0,00252
	N5.4				0,00023	0,00127
	N5.5				0,00205	0,00206
	N5.6				0,00003	0,00199
6	N6.1	0,222	0,056	0,021	0,00100	0,00469
	N6.2				0,00003	0,00199
	N6.3				0,00209	0,00222
	N6.4				0,00129	0,00134
	N6.5				0,00209	0,00222
	N6.6				0,00209	0,00222
7	N7.1	0,220	0,055	0,020	0,00209	0,00222
	N7.2				0,00129	0,00134
	N7.3				0,00209	0,00222
	N7.4				0,00209	0,00222

7.A.5: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)

Cálculo justificativo						
Elemento		h	1/4*h	Área secção (m ²)	Medição	
					Área da maior zona marginal (m ²)	Área total ocupada pelos nós (m ²)
8	N8.1	0,210	0,053	0,023	0,00053	0,0011
	N8.2				0,00000	0,00082
	N8.3				0,00000	0,00082
	N8.4				0,00244	0,00330
	N8.5				0,00000	0,00082
9	N9.1	0,220	0,055	0,020	0,00045	0,00623
	N9.2				0,00201	0,00201
	N9.3				0,0005	0,0062
	N9.4				0,00056	0,00096
10	N10.1	0,220	0,055	0,019	0,00016	0,00022
	N10.2				0,00011	0,00022
	N10.3				0,00012	0,00065
	N10.4				0,00025	0,00044
	N10.5				0,00000	0,00083
	N10.6				0,00037	0,00065
	N10.7				0,00000	0,00069
	N10.8				0,00006	0,00167
11	N11.1	0,210	0,053	0,018	0,00004	0,00074
	N11.2				0,00005	0,00064
	N11.3				0,00000	0,00095
	N11.4				0,00000	0,00042
	N11.5				0,00015	0,00149
	N11.6				0,00047	0,00085
	N11.7				0,00006	0,00085
	N11.8				0,00005	0,00167
	N11.9				0,00006	0,00085
	N11.10				0,00005	0,00167
	N11.11				0,00005	0,00167

7.A.6: Cálculo justificativo (pavimento - continuação)

Cálculo justificativo						
Elemento		h	1/4*h	Área secção (m ²)	Medição	
					Área da maior zona marginal (m ²)	Área total ocupada pelos nós (m ²)
12	N12.1	0,220	0,055	0,018	0,0000	0,00077
	N12.2				0,0000	0,00041
13						
14	N14.1	0,215	0,054	0,018	0,00006	0,00085
15	N15.1	0,170	0,043	0,012	0,0000	0,00098
	N15.2				0,00023	0,00057
	N15.3				0,00005	0,00006
	N15.4				0,0000	0,00025
	N15.5				0,0000	0,00061
	N15.6				0,0000	0,00145
16	N16.1	0,180	0,045	0,013	0,0000	0,00047

7.A.7: Cobertura (arrumos)

Elemento		Nós						
		Elipse		Circular	Agrupamento	Norma NP4305:1995		
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		KAR marginal (maior)	KAR total	Atribuição de classe
1	N1.1			0,030	Isolado	0,075	0,189	Classe EE
	N1.2			0,030	Isolado			
2								
3	N3.1			0,015	Isolado	0,038	0,050	Classe E
4	N4.1			0,005	Isolado	0,004	0,009	Classe E

7.A.8: Cálculo justificativo (cobertura dos arrumos)

Elemento		h	1/4*h	Área secção (m ²)	Medição	
					Área da maior zona marginal (m ²)	Área total ocupada pelos nós (m ²)
1	N1.1	0,159	0,040	0,008	0,00060	0,00150
	N1.2					
2						
3	N3.1	0,150	0,038	0,011	0,00043	0,00056
4	N4.1	0,149	0,037	0,007	0,00003	0,00006

7.A.9: Cobertura (lanternim)

Elemento	Nós							
	Elipse		Circular	Agrupamento	Norma NP4305:1995			
	Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		KAR marginal (maior)	KAR total	Atribuição de classe	
1								
2	N2.1			0,025	Isolado	0,078	0,157	Classe EE
	N2.2	0,030	0,020		Isolado			
3	N3.1			0,050	Isolado	0,051	0,079	Classe EE
4	N4.1			0,035	Isolado	0,065	0,195	Classe EE
	N4.2			0,010	Isolado			
5								

7.A.10: Cálculo justificativo (cobertura do lanternim)

Elemento	h	1/4*h	Área secção (m ²)	Medição		
				Área da maior zona marginal (m ²)	Área total ocupada pelos nós (m ²)	
1						
2	N2.1	0,151	0,038	0,017	0,00130	0,00260
	N2.2					
3	N3.1	0,132	0,033	0,010	0,00052	0,00080
4	N4.1	0,120	0,030	0,009	0,00060	0,00180
	N4.2					
5						

7.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)

Localização	Elemento	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Norma NP4305:1995
					Atribuição de Classe
Pavimento	1	0,50	0,04	0,08	Classe EE
	2	0,50	0,03	0,06	Classe EE
	3	0,50	0,03	0,06	Classe EE
	4	0,50	0,05	0,10	Classe EE
	5	0,50	0,05	0,10	Classe EE
	6	0,50	0	0	Classe EE
	7	0,50	0	0	Classe EE
	8	0,50	0,02	0,04	Classe EE
	9	0,50	0,03	0,06	Classe EE
	10	0,50	0,02	0,04	Classe EE
	11	0,50	0,03	0,06	Classe EE
	12	0,50	0,01	0,02	Classe EE
	13	0,50	0	0	Classe EE
	14	0,50	0,02	0,04	Classe EE
	15	0,50	0,02	0,04	Classe EE
	16	0,50	0,05	0,10	Classe EE
Cobertura (arrumos)	1	0,50	0,01	0,02	Classe EE
	2	0,50	0,01	0,02	Classe EE
	3	0,50	0	0	Classe EE
	4	0,50	0	0	Classe EE
Cobertura (lanternim)	1	0,50	0,01	0,02	Classe EE
	2	0,50	0	0	Classe EE
	3	0,50	0	0	Classe EE
	4	0,50	0,01	0,02	Classe EE
	5	0,50	0	0	Classe EE

7.C: Atribuição de classes de qualidade – Taxa de crescimento (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)

Localização	Elemento	Largura média dos anéis de crescimento (m)	Norma NP4305:1995
			Atribuição de Classe
Pavimento	1	0,005	Classe EE
	2	0,003	Classe EE
	3	0,003	Classe EE
	4	0,004	Classe EE
	5	0,002	Classe EE
	6	0,004	Classe EE
	7	0,003	Classe EE
	8	0,003	Classe EE
	9	0,003	Classe EE
	10	0,005	Classe EE
	11	0,003	Classe EE
	12	0,002	Classe EE
	13	0,004	Classe EE
	14	0,003	Classe EE
	15	0,002	Classe EE
	16	0,003	Classe EE
Cobertura (arrumos)	1	0,003	Classe EE
	2	0,004	Classe EE
	3	0,003	Classe EE
	4	0,002	Classe EE
Cobertura (lanternim)	1	0,003	Classe EE
	2	0,002	Classe EE
	3	0,003	Classe EE
	4	0,004	Classe EE
	5	0,002	Classe EE

7.D: Atribuição de classes de qualidade – Fendas

7.D.1: Pavimento

Elemento		Fendas				Norma NP4305:1995			
		L _f (m)	P _f (m)	A _b (mm)	Comentários	L (m)	(1/4)*L	Classe parcial	Classe final
Viga 1									
Viga 2									
Viga 3									
Viga 4									
Viga 5	F5.1	0,557	0,057	1,60	Não repassada	2,200	0,550	Classe E	Classe E
	F5.2	0,500	0,057	1,70	Não repassada			Classe EE	
	F5.3	0,235	0,004	3,00	Não repassada			Classe EE	
	F5.4	0,600	0,010	5,00	Não repassada			Classe E	
Viga 6									
Viga 7									
Viga 8									
Viga 9	F9.1	3,950	0,035	5,00	Não repassada	3,950	0,988	Sem classe	Sem classe
	F9.2	1,070	0,057	2,00	Não repassada			Sem classe	
Viga 10	F10.1	0,350	0,006	1,30	Não repassada	3,880	0,970	Classe EE	Sem classe
	F10.2	0,420	0,003	1,40	Não repassada			Classe EE	
	F10.3	0,690	0,035	1,80	Não repassada			Classe E	
	F10.4	1,720	0,040	1,40	Não repassada			Sem classe	
Viga 11									
Viga 12									
Viga 13									
Viga 14									
Viga 15									
Viga 16	F16.1	0,270	0,002	2,00	Não repassada	5,421	1,355	Classe EE	Classe EE
	F16.2	0,310	0,035	2,00	Não repassada			Classe EE	
	F16.3	0,310	0,005	0,75	Não repassada			Classe EE	
	F16.4	0,260	0,005	1,50	Não repassada			Classe EE	
	F16.5	0,285	0,015	2,00	Não repassada			Classe EE	

L_f – Comprimento da fenda; P_f – profundidade da fenda; A_b – Abertura da fenda; L – Comprimento da peça

7.D.2: Cobertura (arrumos)

Elemento	Fendas				Norma NP4305:1995				
	L _f (m)	P (m)	A _b (mm)	Comentários	L (m)	(1/4)*L	Classe parcial	Classe final	
1									
2									
3	F3.1	1,577	0,030	3,00	Não repassada	1,577	0,394	Sem classe	Sem classe
	F3.2	0,460	0,025	4,00	Não repassada			Classe E	
4									

L_f – Comprimento da fenda; P_f – profundidade da fenda; A_b – Abertura da fenda; L – Comprimento da peça

7.D.3: Cobertura (lanternim)

Elemento	Fendas				Norma NP4305:1995				
	L _f (m)	P (m)	A _b (mm)	Comentários	L (m)	(1/4)*L	Classe parcial	Classe final	
1	F1.1	0,660	0,015	1,50	Não repassada	1,940	0,485	Classe E	Classe E
2	F2.1	0,330	0,005	1,40	Não repassada	2,020	0,505	Classe EE	Sem classe
	F2.2	0,440	0,020	4,00	Não repassada			Classe EE	
	F2.3	0,710	0,025	5,00	Não repassada			Classe E	
	F2.4	0,370	0,040	3,00	Não repassada			Classe EE	
	F2.5	0,888	0,010	0,85	Não repassada			Classe E	
	F2.6	0,543	0,025	3,00	Não repassada			Classe E	
	F2.7	1,150	0,035	6,00	Não repassada			Sem classe	
3									
4	F4.1	0,310	0,005	1,40	Não repassada	2,008	0,502	Classe EE	Classe EE
	F4.2	0,410	0,010	0,75	Não repassada			Classe EE	
5									

L_f – Comprimento da fenda; P_f – profundidade da fenda; A_b – Abertura da fenda; L – Comprimento da peça

7.E: Atribuição de classes de qualidade – Descaio

7.E.1: Importância do descaio (pavimento)

2	D2.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,030	K1	0,085	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,220	b	0,090	
		% D_{face}	13,6	% D_{canto}	5,6	
5	D5.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,020	K1	0,075	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,216	b	0,085	
		% D_{face}	9,3	% D_{canto}	11,8	
7	D7.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,011	K1	0,080	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,220	b	0,089	
		% D_{face}	5,0	% D_{canto}	10,1	
	D7.2	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,015	K1	0,069	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,220	b	0,089	
		% D_{face}	6,8	% D_{canto}	22,5	

7.E.2: Importância do descaio (pavimento – continuação)

10	D10.1	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1	0,015	K1	0,070
		V2		K2	
		V3		K3	
		h	0,220	b	0,087
		% D_{face}	6,8	% D_{canto}	19,5
	D10.2	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1	0,020	K1	0,075
		V2		K2	
		V3		K3	
		h	0,220	b	0,087
		% D_{face}	9,1	% D_{canto}	13,8
	D10.3	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1	0,022	K1	0,080
		V2		K2	
		V3		K3	
		h	0,220	b	0,087
		% D_{face}	10,0	% D_{canto}	8,0
	D10.1 + D10.3	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1		K1	
V2			K2	0,017	
V3			K3	0,007	
h			b	0,087	
% D_{face}		0,00	% D_{canto}	27,6	
11	D11.1	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1	0,021	K1	0,075
		V2		K2	
		V3		K3	
		h	0,210	b	0,085
		% D_{face}	10,0	% D_{canto}	11,8
	D11.2	Descaio de face		Descaio de canto	
		V1	0,030	K1	0,060
		V2		K2	
		V3		K3	
		h	0,210	b	0,085
		% D_{face}	14,3	% D_{canto}	29,4

7.E.3: Importância do descaio (cobertura dos arrumos)

2	D2.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,050	K1	0,070	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,151	b	0,110	
		% D_{face}	33,1	% D_{canto}	57,1	
	D2.2	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,030	K1	0,080	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,151	b	0,110	
		% D_{face}	19,9	% D_{canto}	37,5	
	D2.1 + D2.2	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1		K1		
		V2		K2	0,030	
V3			K3	0,040		
h		0,151	b	0,110		
% D_{face}		0,0	% D_{canto}	63,6		

7.E.4: Importância do descaio (cobertura do lanternim)

1	D1.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,017	K1	0,104	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,160	b	0,110	
		D_{face}	0,017	D_{canto}	0,006	
5	D5.1	Descaio de face		Descaio de canto		
		V1	0,060	K1	0,058	
		V2		K2		
		V3		K3		
		h	0,152	b	0,094	
		D_{face}	0,060	D_{canto}	0,036	

7.E.5: Classes de qualidade

Localização	Elemento	Numeração	D _{face}	D _{canto}	Condição da Classe EE		Condição da Classe E		Classe parcial	Classe final
					(1/4)*h	(1/4)*b	(1/3)*h	(1/3)*b		
Pavimento	2	D2.1	0,030	0,005	0,055	0,023			Classe EE	Classe EE
	5	D5.1	0,020	0,010	0,054	0,021			Classe EE	Classe EE
	7	D7.1	0,011	0,009	0,055	0,022			Classe EE	Classe EE
		D7.2	0,015	0,020	0,055	0,022			Classe EE	
	10	D10.1	0,015	0,017	0,055	0,022			Classe EE	Classe E
		D10.2	0,020	0,012	0,055	0,022			Classe EE	
		D10.3	0,022	0,007	0,055	0,022			Classe EE	
		D10.1 + D10.3	0,000	0,024	0,055	0,022	0,073	0,029	Classe E	
	11	D11.1	0,021	0,010	0,053	0,021			Classe EE	Classe E
		D11.2	0,030	0,025	0,053	0,021	0,070	0,028	Classe E	
Cobertura (arrumos)	2	D2.1	0,050	0,040	0,038	0,028	0,050	0,037	Sem classe	Sem classe
		D2.2	0,030	0,030	0,038	0,028	0,050	0,037	Classe E	
		D2.1 + D2.2	0,000	0,070	0,038	0,028	0,050	0,037	Sem classe	
Cobertura (lanternim)	1	D1.1	0,017	0,006	0,040	0,028			Classe EE	Classe EE
	5	D5.1	0,060	0,036	0,038	0,024	0,051	0,031	Sem classe	Sem classe

7.F: Atribuição de classes de qualidade – Empeno

Localização	Elemento	Empeno - Arco de face X (mm)	Largura b (m)	Norma NP4305:1995		
				Requisitos Classe EE		Atribuição de Classe
				b ≥ 0,075 m e X ≤ 0,01	Interpolação b ≤ 0,075 m e X ≤ 0,012	
Pavimento	1	0,003	0,090	Classe EE		Classe EE
	2	0,004	0,093	Classe EE		Classe EE
	3	0,004	0,090	Classe EE		Classe EE
	4	0,005	0,093	Classe EE		Classe EE
	5	0	0,085	Classe EE		Classe EE
	6	0,009	0,093	Classe EE		Classe EE
	7	0,003	0,089	Classe EE		Classe EE
	8	0,003	0,110	Classe EE		Classe EE
	9	0,005	0,090	Classe EE		Classe EE
	10	0,006	0,087	Classe EE		Classe EE
	11	0,004	0,085	Classe EE		Classe EE
	12	0,003	0,084	Classe EE		Classe EE
	13	0,005	0,107	Classe EE		Classe EE
	14	0	0,085	Classe EE		Classe EE
	15	0,003	0,071		Classe EE	Classe EE
	16	0,009	0,071		Classe EE	Classe EE

7.G: Fichas de classificação visual

7.G.1: Pavimento

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,090 x 0,220 m ²	
	Numeração	1		Comprimento	1,980 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N1.1	0,034	0,025		0,000	0,035
N1.2	0,031	0,030		0,017	0,028	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,04	0,08			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,005		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários:	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,003					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,093 x 0,215 m2	
	Numeração	2		Comprimento	1,980 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N2.1			0,038	0,000	0,044
	N2.2			0,040	0,009	0,091
	N2.3	0,038	0,03		0,000	0,000
	N2.4	0,045	0,043		0,000	0,053
N2.5	0,045	0,038		0,001	0,054	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,03	0,06			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D2.1	0,030			0,220	0,030
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
	0,085			0,090	0,005	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,004					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,090 x 0,220 m ²	
	Numeração	3		Comprimento	1,980 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N3.1			0,040	0,082	0,182
	N3.2	0,050	0,040		0,000	0,237
	N3.3	0,080	0,060			
N3.4	0,050	0,040		0,082	0,182	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,03	0,06			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,004					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,093 x 0,225 m ²	
	Numeração	4		Comprimento	1,980 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N4.1	0,037	0,018		0,131	0,227
	N4.2			0,030		
	N4.3			0,030		
N4.4			0,020			
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,05	0,10			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,004		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D _{face}
		K1	K2	K3	b	D _{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,005					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,085 x 0,216 m ²	
	Numeração	5		Comprimento	2,200 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N5.1	0,040	0,015		0,126	0,137
	N5.2			0,002	0,013	0,069
	N5.3	0,035	0,020		0,112	0,112
	N5.4	0,030	0,005		0,126	0,137
	N5.5			0,001	0,013	0,069
N5.6			0,020	0,112	0,112	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,05	0,10			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F5.1	0,557	0,057	1,60	Não repassada	
	F5.2	0,500	0,057	1,70	Não repassada	
	F5.3	0,235	0,004	3,00	Não repassada	
	F5.4	0,600	0,010	5,00	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D5.1	0,020			0,216	0,020
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
	0,075			0,085	0,010	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,093 x 0,222 m ²	
	Numeração	6		Comprimento	3,100 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N6.1	0,030	0,025		0,048	0,227
	N6.2			0,015		
	N6.3	0,009	0,006			
	N6.4			0,020		
	N6.5			0,020		
N6.6	0,020	0,010		0,001	0,096	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,004		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,009					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,089 x 0,220 m ²	
	Numeração	7		Comprimento	3,330 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N7.1			0,030	0,090	0,096
	N7.2			0,020	0,066	0,068
	N7.3			0,010		
N7.4			0,020	0,107	0,113	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D7.1	0,011			0,220	0,011
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
	D7.2	0,080			0,089	0,009
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		0,015			0,220	0,015
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
	0,069			0,089	0,020	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,003					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe EE					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,110 x 0,210 m ²	
	Numeração	8		Comprimento	3,890 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N8.1	0,08	0,04		0,023	0,048
	N8.2			0,03	0,000	0,035
	N8.3			0,03	0,000	0,035
	N8.4			0,05	0,106	0,143
N8.5			0,03	0,000	0,035	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,02	0,04			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda L_f (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,003					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,090 x 0,220 m ²	
	Numeração	9		Comprimento	3,950 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N9.1	0,100	0,060		0,023	0,315
	N9.2	0,045	0,030		0,102	0,102
	N9.3	0,020	0,005			
N9.4	0,065	0,050		0,025	0,313	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,03	0,06			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F9.1	3,950	0,035	5,00	Não repassada	
	F9.2	1,070	0,057	2,00	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,005					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,087 x 0,220 m ²	
	Numeração	10		Comprimento	3,880 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N10.1	0,055	0,030		0,029	0,050
	N10.2	0,030	0,025		0,008	0,011
	N10.3			0,010	0,006	0,011
	N10.4	0,030	0,010		0,006	0,034
	N10.5			0,020	0,013	0,023
	N10.6	0,050	0,020		0,000	0,043
N10.7	0,030	0,030		0,019	0,034	
N10.8	0,040	0,020		0,000	0,036	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,02	0,04			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,005		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F10.1	0,350	0,006	1,30	Não repassada	
	F10.2	0,420	0,003	1,40	Não repassada	
	F10.3	0,690	0,035	1,80	Não repassada	
	F10.4	1,720	0,040	1,40	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D10.1	0,015			0,220	0,015
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,070			0,087	0,017
	D10.2	V1	V2	V3	h	D_{face}
		0,020			0,220	0,015
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
	D10.3	0,070			0,087	0,017
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		0,022			0,220	0,020
	D10.1 + D.10.3	K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,075			0,087	0,012
		V1	V2	V3	h	D_{face}
				0,220		
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,017	0,007	0,087	0,024	

Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários
	0,006				
Bolsas de resina e casca inclusa					
Medula	Sim				
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)				
Classe de Qualidade	Sem classe				

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,085 x 0,210 m ²	
	Numeração	11		Comprimento	3,690 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N11.1	0,100	0,050		0,003	0,094
	N11.2			0,020	0,002	0,041
	N11.3			0,030		
	N11.4	0,040	0,030		0,003	0,036
	N11.5			0,050	0,000	0,053
	N11.6	0,040	0,020		0,000	0,024
	N11.7			0,050	0,008	0,083
	N11.8			0,040		
	N11.9			0,040	0,026	0,048
N11.10			0,040	0,003	0,048	
N11.11	0,060	0,050		0,003	0,094	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,03	0,06			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D11.1	0,021			0,210	0,021
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,075			0,085	0,010
	D11.2	V1	V2	V3	h	D_{face}
0,03				0,210	0,030	
K1		K2	K3	b	D_{canto}	
	0,06			0,085	0,025	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,004					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					

Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)
Classe de Qualidade	Sem classe

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,084 x 0,220 m ²	
	Numeração	12		Comprimento	3,220 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		D _{maior} (m)	D _{menor} (m)	D (m)		
	N12.1			0,035	0,000	0,042
N12.2			0,020	0,000	0,022	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,01	0,02			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda L_f (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,003					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,107 x 0,210 m ²	
	Numeração	13		Comprimento	2,815 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,004		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,005					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Viga		Secção (b x h)	0,085 x 0,215 m ²	
	Numeração	14		Comprimento	1,727 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N14.1			0,040	0,003	0,047
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,02	0,04			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Sequência de Tarugos		Secção (b x h)	0,071 x 0,170 m ²	
	Numeração	15		Comprimento	3,545 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N15.1			0,040	0,000	0,081
	N15.2	0,035	0,020		0,005	0,047
	N15.3			0,025	0,004	0,050
	N15.4			0,020	0,000	0,021
	N15.5			0,025	0,000	0,051
N15.6			0,055	0,000	0,120	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,02	0,04			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,003					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Pavimento		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Sequência de Tarugos		Secção (b x h)	0,071 x 0,180 m ²	
	Numeração	16		Comprimento	5,421 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N16.1			0,025	0,000	0,037
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,05	0,10			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F16.1	0,270	0,002	2,00	Não repassada	
	F16.2	0,310	0,035	2,00	Não repassada	
	F16.3	0,310	0,005	0,75	Não repassada	
	F16.4	0,260	0,005	1,50	Não repassada	
	F16.5	0,285	0,015	2,00	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
	0,009					
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe E					

7.G.2: Cobertura (arrumos)

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (arrumos)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Madre		Secção (b x h)	0,050 x 0,159 m ²	
	Numeração	1		Comprimento		
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N1.1			0,030	0,075	0,189
	N1.2			0,030		
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,01	0,02			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho pequeno e térmitas. Verifica-se a existência de manchas de humificação					
Classe de Qualidade	Classe EE					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (arrumos)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Perna de asna		Secção (b x h)	0,110 x 0,140 m ²	
	Numeração	2		Comprimento	1,809 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,01	0,02			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,004		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		D2.1	V1	V2	V3	h
	0,05				0,151	0,05
	D2.2	K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,07			0,11	0,04
		V1	V2	V3	h	D_{face}
	D2.1 + D2.2	0,03			0,151	0,03
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
		0,08			0,11	0,03
		V1	V2	V3	h	D_{face}
				0,151		
	K1	K2	K3	b	D_{canto}	
		0,03	0,04	0,11	0,07	
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno). Verifica-se a existência de manchas de humedificação					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (arrumos)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Perna de asna		Secção (b x h)	0,075 x 0,150 m ²	
	Numeração	3		Comprimento	1,577 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N3.1			0,015	0,038	0,050
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F3.1	1,577	0,030	3,00	Não repassada	
	F3.2	0,460	0,025	4,00	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica	Não se verifica a presença de degradação biológica, mas é notória a existência de manchas de humedificação					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (arrumos)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Madre		Secção (b x h)	0,046 x 0,149 m ²	
	Numeração	4		Comprimento		
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N4.1			0,005	0,004	0,009
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Sim					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho pequeno e térmitas. Verifica-se a existência de manchas de humedificação					
Classe de Qualidade	Sem classe					

7.G.3: Cobertura (lanternim)

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (lanternim)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Escora		Secção (b x h)	0,110 x 0,160 m ²	
	Numeração	1		Comprimento	1,940 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,01	0,02			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F1.1	0,660	0,015	1,50	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
	D1.1	V1	V2	V3	h	D_{face}
		0,017			0,160	0,017
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
0,104			0,110	0,006		
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (grande e pequeno)					
Classe de Qualidade	Sem classe					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (lanternim)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Diagonal		Secção (b x h)	0,110 x 0,151 m ²	
	Numeração	2		Comprimento	2,020 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N2.1			0,025	0,078	0,157
N2.2	0,030	0,020				
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0	0	Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F2.1	0,330	0,005	1,40	Não repassada	
	F2.2	0,440	0,020	4,00	Não repassada	
	F2.3	0,710	0,025	5,00	Não repassada	
	F2.4	0,370	0,040	3,00	Não repassada	
	F2.5	0,888	0,010	0,85	Não repassada	
	F2.6	0,543	0,025	3,00	Não repassada	
	F2.7	1,150	0,035	6,00	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Sem classe					

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (lanternim)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Escora		Secção (b x h)	0,077 x 0,132 m ²	
	Numeração	3		Comprimento	1,820 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N3.1			0,050	0,051	0,079
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50			Fio Horizontal		
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,003		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe EE					

Trabalho Final de Mestrado

Mestrado em Engenharia Civil – Perfil de Edificações

Ficha de Classificação Visual						
Identificação do elemento	Local	Cobertura (lanternim)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo	
	Tipo	Diagonal		Secção (b x h)	0,077 x 0,120 m ²	
	Numeração	4		Comprimento	2,008 m	
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal	KAR total
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)		
	N4.1			0,035	0,065	0,195
N4.2			0,010			
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários		
	0,50	0,01	0,02			
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,004		
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários	
	F4.1	0,310	0,005	1,40	Não repassada	
	F4.2	0,410	0,010	0,75	Não repassada	
Descaio	Numeração	Coeficientes				
		V1	V2	V3	h	D_{face}
		K1	K2	K3	b	D_{canto}
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários	
Bolsas de resina e casca inclusa						
Medula	Não					
Degradação biológica						
Classe de Qualidade	Classe EE					

Ficha de Classificação Visual					
Identificação do elemento	Local	Cobertura (lanternim)		Espécie	Casquinha / Pinho Bravo
	Tipo	Nível		Secção (b x h)	0,094 x 0,152 m ²
	Numeração	5		Comprimento	1,170 m
Nós	Numeração	Elipse		Circular	KAR marginal
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)	
Fio	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Comentários	
	0,50	0	0	Fio Horizontal	
Taxa de crescimento	Largura média dos anéis de crescimento R (m)			0,002	
Fendas	Numeração	Comprimento da fenda Lf (m)	Profundidade (m)	Abertura (mm)	Comentários
Descaio	Numeração	Coeficientes			
	D5.1	V1	V2	V3	h
		0,0595			0,152
		K1	K2	K3	b
0,0581			0,094		
Em termos de classificação visual o defeito presente na peça foi encarado com descaio, mas na realidade corresponde a uma perda de secção física					
Empenos	Arco de face (X)	Arco de Canto (Y)	Hélice (Z)	Meia cana (Xt)	Comentários
Bolsas de resina e casca inclusa					
Medula	Não				
Degradação biológica	Presença de ataque de caruncho (pequeno) e fungo de podridão				
Classe de Qualidade	Sem classe				

7.H: Atribuição de classe de qualidade – Resumo

7.H.1: Pavimento

Localização	Resumo final											Classe
	Elemento	Nós	Fio	Taxa crescimento	Fendas	Descaio	Empeno	Bolsas de resina e casca inclusa	Medula	Degradação biológica	Classe	
Pavimento	1	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sim		Classe E	
	2	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sim		Classe E	
	3	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Não	Sem classe	Sem classe	
	4	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Não		Classe E	
	5	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe E	Classe EE	Classe EE	Não		Classe E	
	6	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Não		Classe E	
	7	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Não		Classe EE	
	8	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Sim	Sem classe	Sem classe	
	9	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sem classe		Classe EE	Não	Sem classe	Sem classe	
	10	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sem classe	Classe E	Classe EE	Sim	Sem classe	Sem classe	
	11	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe E	Classe EE	Sim	Sem classe	Sem classe	
	12	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Sim		Classe E	
	13			Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Não	Sem classe	Sem classe	
	14	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Sim		Classe E	
	15	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Sim		Classe E	
	16	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE		Classe EE	Sim		Classe E	

7.H.2: Cobertura (arrumos)

Localização	Resumo final										
	Elemento	Nós	Fio	Taxa crescimento	Fendas	Descaio	Empeno	Bolsas de resina e casca inclusa	Medula	Degradação biológica	Classe
Cobertura (arrumos)	1	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE				Não	Sem classe	Sem classe
	2		Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sem classe			Não	Sem classe	Sem classe
	3	Classe E	Classe EE	Classe EE	Sem classe				Sim		Sem classe
	4	Classe E	Classe EE	Classe EE	Classe E				Sim	Sem classe	Sem classe

7.H.3: Cobertura (lanternim)

		Resumo final										
Localização	Elemento	Nós	Fio	Taxa crescimento	Fendas	Descaio	Empeno	Bolsas de resina e casca inclusa	Medula	Degradação biológica	Classe	
Cobertura (lanternim)	1		Classe EE	Classe EE	Classe E	Classe EE			Não	Sem classe	Sem classe	
	2	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sem classe				Não		Sem classe	
	3	Classe EE	Classe EE	Classe EE					Não		Classe EE	
	4	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE				Não		Classe EE	
	5		Classe EE	Classe EE	Classe EE	Classe EE	Sem classe		Não	Sem classe	Sem classe	

Capítulo 8. Aplicação da classificação visual segundo a norma

UNI 11119:2004

8.A: Atribuição da classe de qualidade – Nós	231
8.A.1: Pavimento	231
8.A.2: Cobertura (arrumos)	232
8.A.3: Cobertura (lanternim)	232
8.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)	233
8.C: Atribuição de classes de qualidade – Fendas	234
8.D: Atribuição de classes de qualidade – Descaio	234
8.D.1: Importância do descaio (pavimento)	234
8.D.2: Importância do descaio (cobertura dos arrumos)	235
8.D.3: Importância do descaio (cobertura do lanternim)	235
8.E: Atribuição de classe de qualidade – Resumo	236
8.E.1: Pavimento	236
8.E.2: Cobertura (arrumos)	236
8.E.3: Cobertura (lanternim)	236

8.A: Atribuição da classe de qualidade – Nós

8.A.1: Pavimento

Elemento		Nós isolados					
		Elipse		Circular	Norma UNI 11119:2004		
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)	Dmenor/dimensão	Classe parcial	Classe final
1	N1.1	0,034	0,025		0,114	Classe I	Classe I
2	N2.1			0,038	0,177	Classe I	Classe I
	N2.4	0,045	0,043		0,200	Classe I	
3	N3.2	0,050	0,040		0,182	Classe I	Classe II
	N3.3	0,080	0,060		0,273	Classe II	
4	N4.1	0,037	0,018		0,213	Classe I	Classe I
	N4.2			0,030			
	N4.3			0,030	0,222	Classe I	
	N4.4			0,020			
5							
6							
7	N7.2			0,020	0,091	Classe I	Classe I
	N7.3			0,010	0,045	Classe I	
8	N8.4			0,050	0,455	Classe III	Classe III
9							
10	N10.2	0,030	0,025		0,114	Classe I	Classe I
11	N11.4	0,040	0,030		0,143	Classe I	Classe II
	N11.7			0,050	0,429	Classe II	
	N11.8			0,040			
12	N12.1			0,035	0,159	Classe I	Classe I
13							
14	N14.1			0,040	0,186	Classe I	Classe I
15	N15.1			0,040	0,235	Classe II	Classe II
16							

Elemento		Nós agrupados					
		Elipse		Circular	Norma UNI 11119:2004		
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)	Dmenor/dimensão	Classe parcial	Classe final
4	N4.1	0,037	0,018		0,213	Classe I	Classe I
	N4.2			0,030			
	N4.3			0,030	0,222	Classe I	
	N4.4			0,020			
11	N11.7			0,050	0,429	Classe II	Classe II
	N11.8			0,040			

8.A.2: Cobertura (arrumos)

Elemento		Nós isolados					
		Elipse		Circular	Norma UNI 11119:2004		
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)	Dmenor/dimensão	Classe parcial	Classe final
1	N1.1			0,030	0,189	Classe I	Classe I
	N1.2			0,030	0,189	Classe I	
2							
3	N3.1			0,015	0,200	Classe I	Classe I
4	N4.1			0,005	0,034	Classe I	Classe I

8.A.3: Cobertura (lanternim)

Elemento		Nós isolados					
		Elipse		Circular	Norma UNI 11119:2004		
		Dmaior (m)	Dmenor (m)	D (m)	Dmenor/dimensão	Classe parcial	Classe final
1							
2	N2.2	0,030	0,020		0,132	Classe I	Classe I
3	N3.1			0,050	0,379	Classe II	Classe II
4							
5							

8.B: Atribuição de classes de qualidade – Inclinação do fio (pavimento, cobertura dos arrumos e lanternim)

Localização	Elemento	Segmento AC (m)	Segmento BC (m)	Inclinação do fio (m)	Classe de qualidade
Pavimento	1	0,50	0,04	0,08	Classe II
	2	0,50	0,03	0,06	Classe I
	3	0,50	0,03	0,06	Classe I
	4	0,50	0,05	0,10	Classe I
	5	0,50	0,05	0,10	Classe I
	6	0,50	0	0	Classe I
	7	0,50	0	0	Classe I
	8	0,50	0,02	0,04	Classe I
	9	0,50	0,03	0,06	Classe I
	10	0,50	0,02	0,04	Classe I
	11	0,50	0,03	0,06	Classe I
	12	0,50	0,01	0,02	Classe I
	13	0,50	0	0	Classe I
	14	0,50	0,02	0,04	Classe I
	15	0,50	0,02	0,04	Classe I
	16	0,50	0,05	0,10	Classe I
Cobertura (arrumos)	1	0,50	0,01	0,02	Classe I
	2	0,50	0,01	0,02	Classe I
	3	0,50	0	0	Classe I
	4	0,50	0	0	Classe I
Cobertura (lanternim)	1	0,50	0,01	0,02	Classe I
	2	0,50	0	0	Classe I
	3	0,50	0	0	Classe I
	4	0,50	0,01	0,02	Classe I
	5	0,50	0	0	Classe I

8.C: Atribuição de classes de qualidade – Fendas

Localização	Elemento		Fendas						
			Lf (m)	P(m)	Presença de medula	b	b/2	Classe parcial	Classe final
Pavimento	5	F5.1	0,56	0,057	Não			Classe I	Classe I
		F5.2	0,50	0,057				Classe I	
		F5.4	0,60	0,010				Classe I	
	9	F9.1	3,95	0,035	Não			Classe I	Classe I
	10	F10.2	0,42	0,003	Sim	0,087	0,044	Classe II	Classe II
		F10.4	1,72	0,040		0,087	0,044	Classe II	
	16	F16.2	0,31	0,035	Sim	0,071	0,036	Classe II	Classe II
Cobertura (arrumos)	3	F3.1	1,58	0,030	Sim	0,075	0,038	Classe II	Classe II
Cobertura (lanternim)	2	F2.2	0,44	0,020	Não			Classe I	Classe I
		F2.4	0,37	0,040				Classe I	
		F2.5	0,89	0,010				Classe I	
		F2.7	1,15	0,035				Classe I	
	4	F4.2	0,41	0,010	Não			Classe I	Classe I

8.D: Atribuição de classes de qualidade – Descaio

8.D.1: Importância do descaio (pavimento)

Elemento		Secção residual		Descaio					
		h_r	b_r	Cateto b_1	Cateto b_1/b_r	Cateto h_1	Cateto h_1/h_r	Menor valor	Classe de qualidade
1		0,22	0,09						
2	D2.1	0,215	0,093	0,008	0,086	0,030	0,140	0,086	Classe I
3		0,217	0,085						
4		0,225	0,093						
5		0,216	0,085						
6		0,222	0,093						
7		0,22	0,089						
8		0,204	0,092						
9		0,217	0,083						
10		0,218	0,089						
11		0,21	0,078						
12		0,22	0,084						
13		0,21	0,102						
14		0,215	0,085						
15		0,17	0,071						
16		0,18	0,071						

h_r – Altura (residual); b_r – Base (residual); b_1 – Largura do descaio; h_1 – Altura do descaio

8.D.2: Importância do descaio (cobertura dos arrumos)

Elemento		Secção residual		Descaio					
		h_r	b_r	Cateto b_1	Cateto b_1/b_r	Cateto h_1	Cateto h_1/h_r	Menor valor	Classe de qualidade
1		0,145	0,05						
2	D2.1 + D2.2	0,133	0,11	0,070	0,636	0,050	0,376	0,376	Sem classe
3		0,15	0,075						
4		0,13	0,046						

h_r – Altura (residual); b_r – Base (residual); b_1 – Largura do descaio; h_1 – Altura do descaio

8.D.3: Importância do descaio (cobertura do lanternim)

Elemento		Secção residual		Descaio					
		h_r	b_r	Cateto b_1	Cateto b_1/b_r	Cateto h_1	Cateto h_1/h_r	Menor valor	Classe de qualidade
1	D1.1	0,154	0,106	0,002	0,019	0,017	0,110	0,019	Classe I
2		0,151	0,11						
3		0,132	0,077						
4		0,12	0,077						
5	D5.1	0,147	0,094	0,036	0,382	0,060	0,405	0,382	Sem classe

h_r – Altura (residual); b_r – Base (residual); b_1 – Largura do descaio; h_1 – Altura do descaio

8.E: Atribuição de classe de qualidade – Resumo

8.E.1: Pavimento

Resumo final							
Localização	Elemento	Descaio	Nós		Inclinação do fio (secção radial e tangencial)	Fendas retracção	Classe de qualidade
			Isolados	Agrupados			
Pavimento	1		Classe I		Classe II		Classe II
	2	Classe I	Classe I		Classe I		Classe I
	3		Classe II		Classe I		Classe II
	4		Classe I	Classe I	Classe I		Classe I
	5				Classe I	Classe I	Classe I
	6				Classe I		Classe I
	7		Classe I		Classe I		Classe I
	8		Classe III		Classe I		Classe III
	9				Classe I	Classe I	Classe I
	10		Classe I		Classe I	Classe II	Classe II
	11		Classe II	Classe II	Classe I		Classe II
	12		Classe I		Classe I		Classe I
	13				Classe I		Classe I
	14		Classe I		Classe I		Classe I
	15		Classe II		Classe I		Classe II
	16				Classe I	Classe II	Classe II

8.E.2: Cobertura (arrumos)

Localização	Elemento	Descaio	Nós		Inclinação do fio (secção radial e tangencial)	Fendas retracção	Classe de qualidade
			Isolados	Agrupados			
Cobertura (arrumos)	1		Classe I		Classe I		Classe I
	2	Sem			Classe I		Sem classe
	3		Classe I		Classe I	Classe II	Classe II
	4		Classe I		Classe I		Classe I

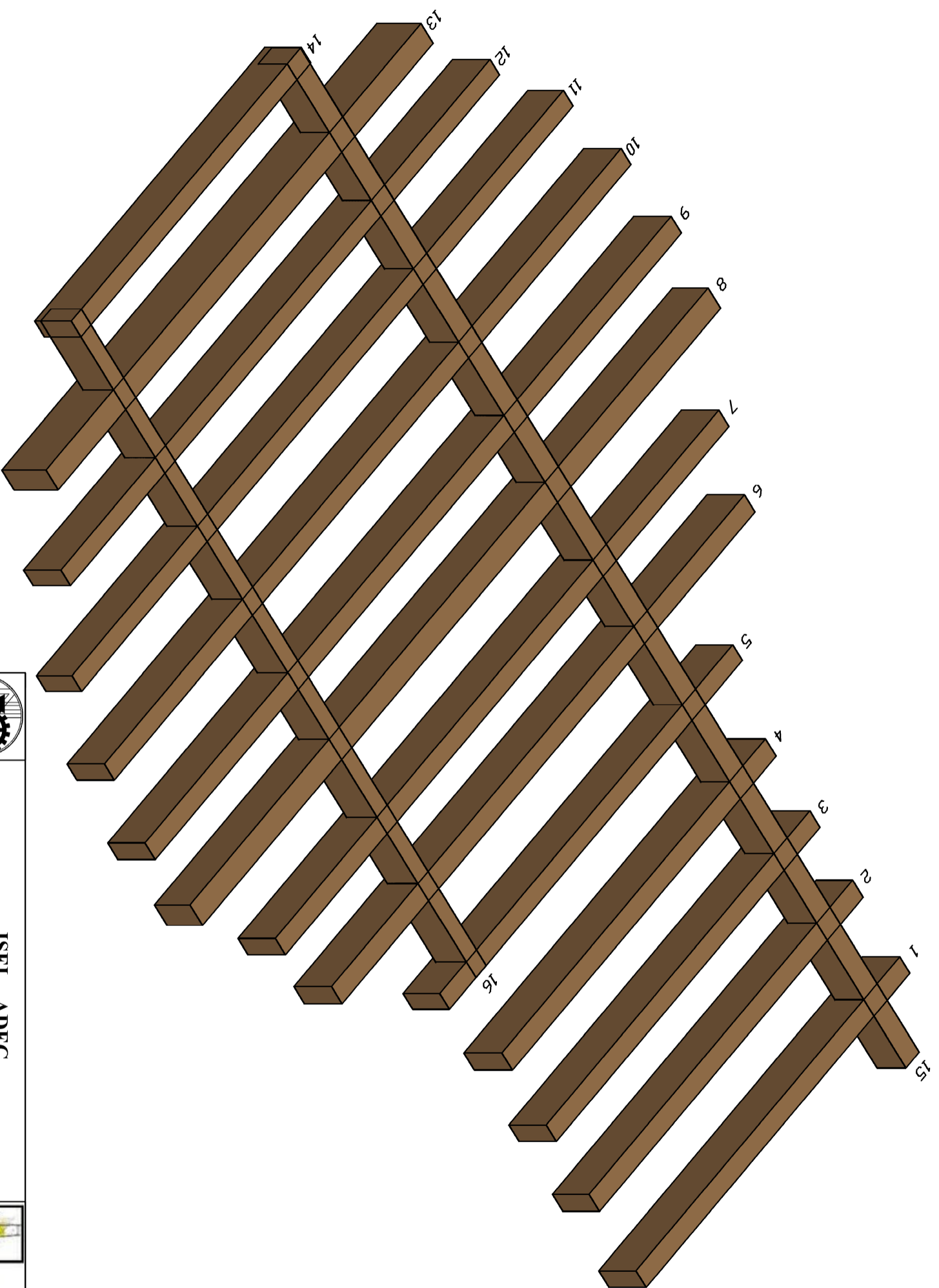
8.E.3: Cobertura (lanternim)

Localização	Elemento	Descaio	Nós		Inclinação do fio (secção radial e tangencial)	Fendas retracção	Classe de qualidade
			Isolados	Agrupados			
Cobertura (lanternim)	1	Classe I			Classe I		Classe I
	2		Classe I		Classe I	Classe I	Classe I
	3		Classe II		Classe I		Classe II
	4				Classe I	Classe I	Classe I
	5	Sem classe			Classe I		Sem classe

Peças desenhadas

Lista de peças desenhadas:

- I. Vista geral do pavimento
- II. Planta do pavimento
- III. Vista geral e em planta da cobertura (arrumos)
- IV. Vista geral e em planta da cobertura (lanternim)
- V. Cálculo do KAR total e marginal do pavimento (parte 1)
- VI. Cálculo do KAR total e marginal do pavimento (parte 2)
- VII. Cálculo do KAR total e marginal da cobertura (lanternim e arrumos)
- VIII. Avaliação dos defeitos do pavimento (parte 1)
- IX. Avaliação dos defeitos do pavimento (parte 2)
- X. Avaliação dos defeitos do pavimento (parte 3)
- XI. Avaliação dos defeitos do pavimento (parte 4)
- XII. Avaliação dos defeitos da cobertura (arrumos)
- XIII. Avaliação dos defeitos da cobertura (lanternim)



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

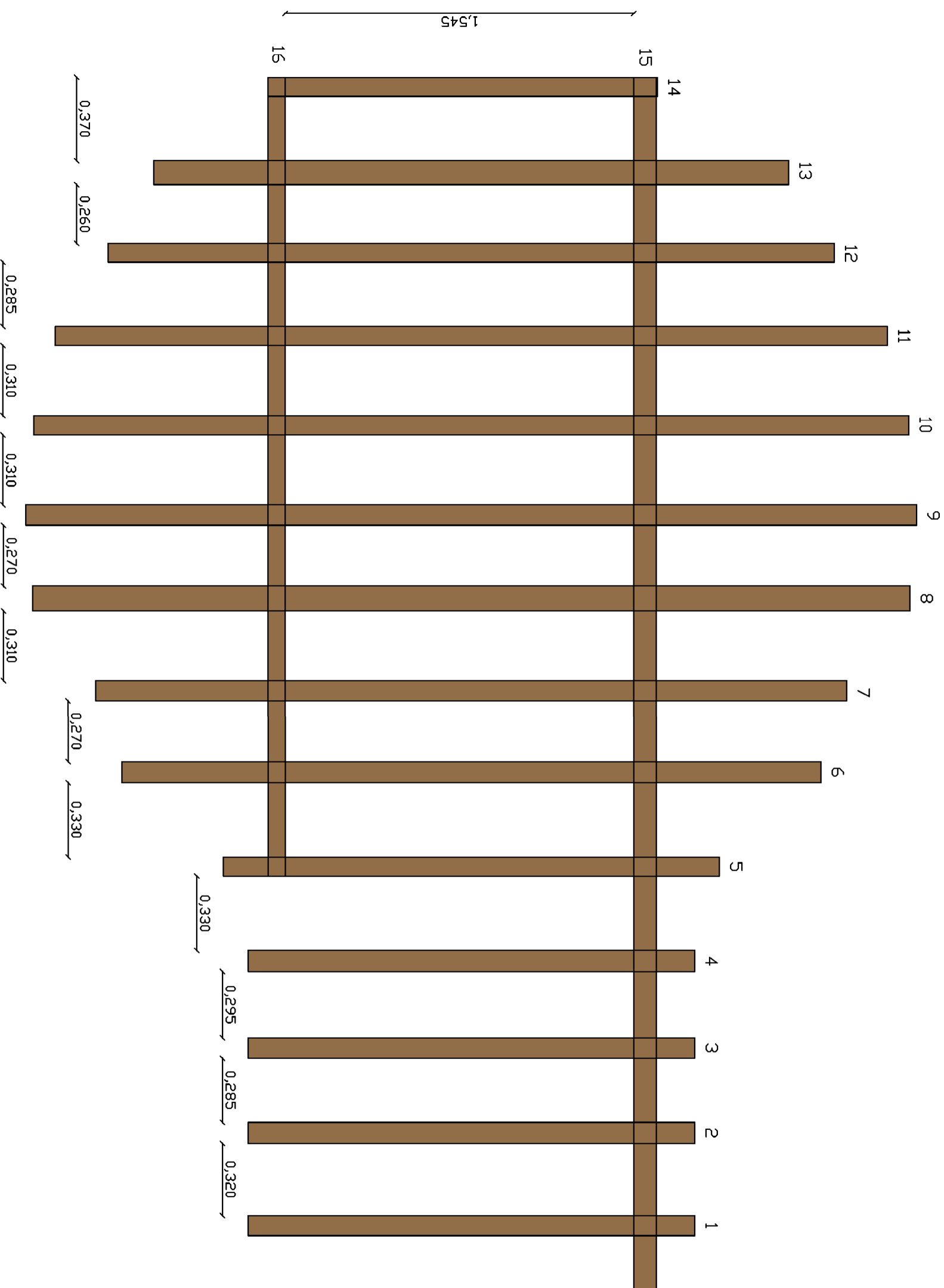
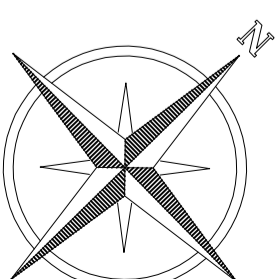
Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado
Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

Escala: 1:20
Formato: A3

I. Vista geral do pavimento

Data: Dezembro 2013
Desenho n.º: **1**



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Escala: 1:20

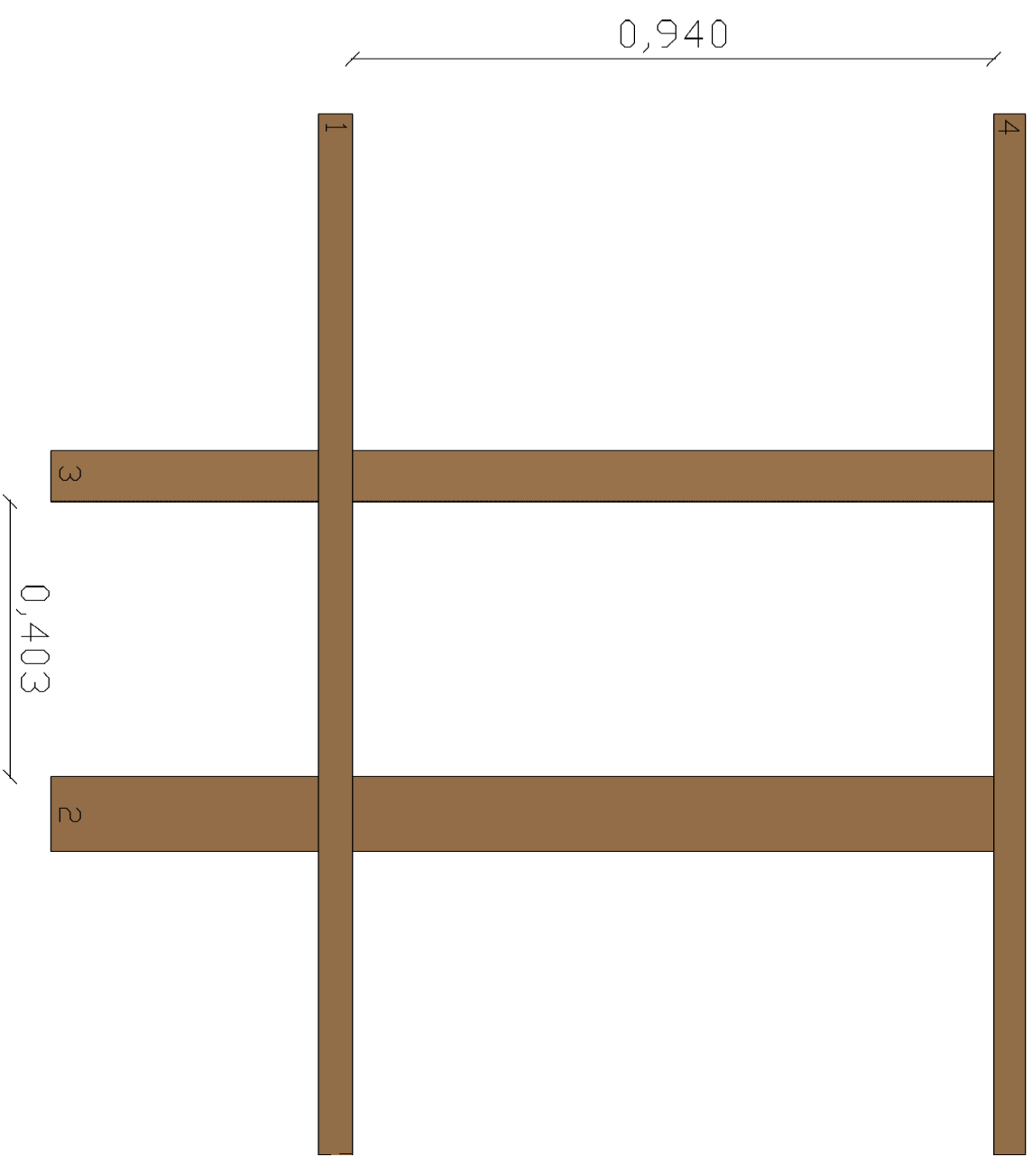
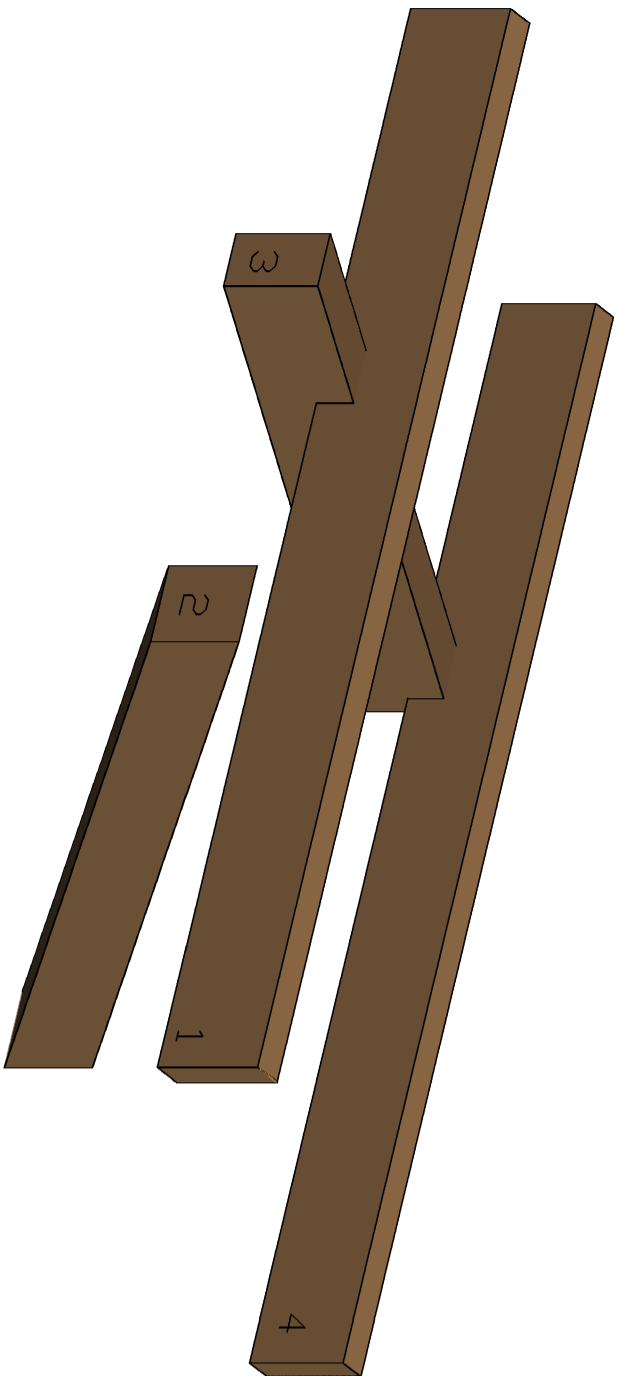
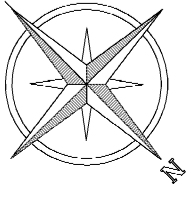
Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

Formato: A3

II. Planta do pavimento

Data: Dezembro 2013

Desenho n.º: **2**



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

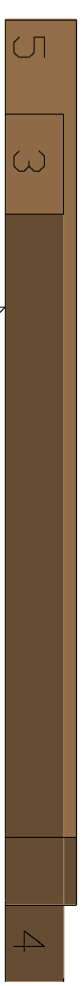
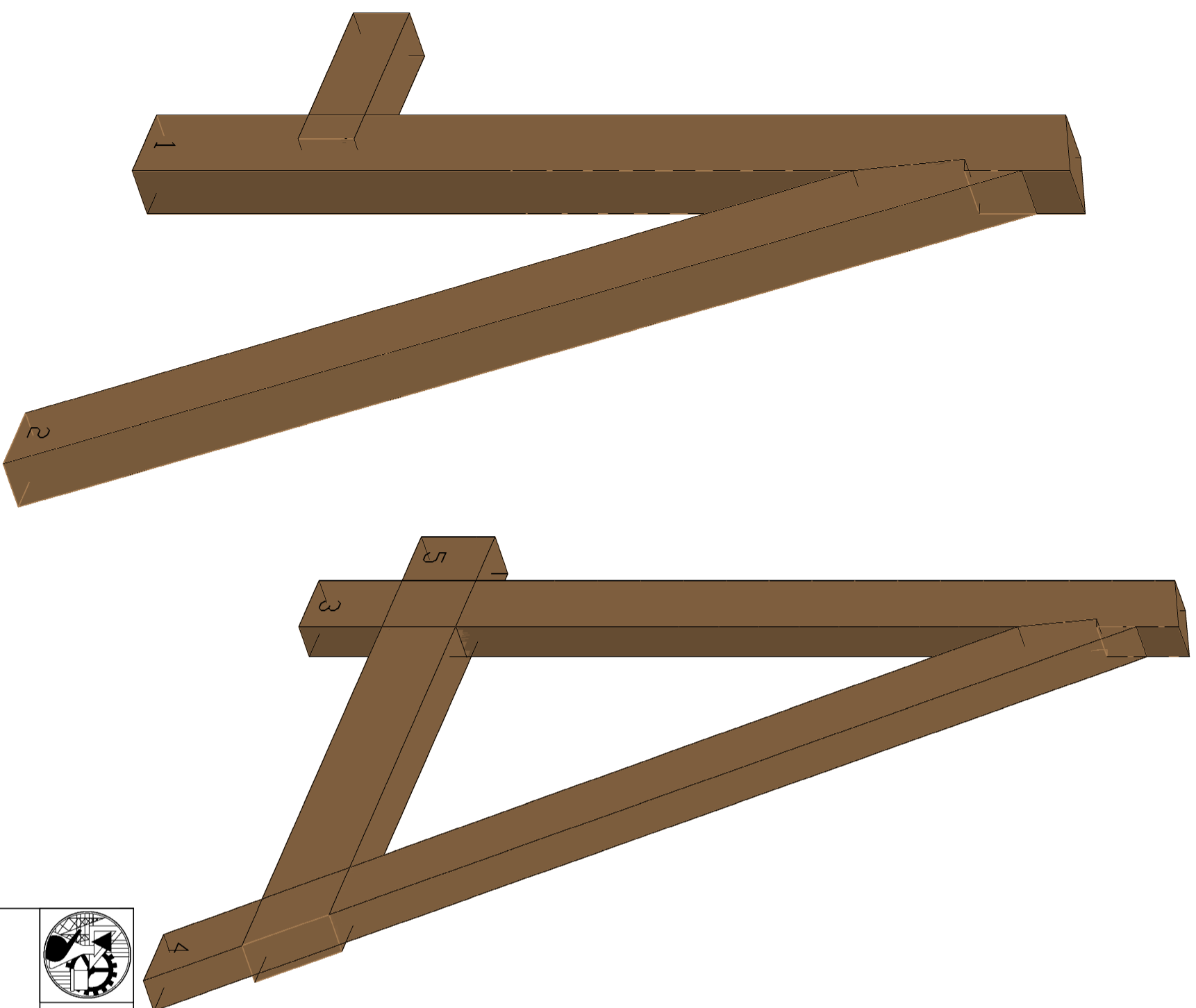
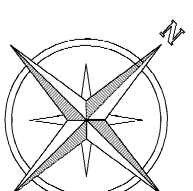
Escala: 1:10

Formato: A3

III. Vista geral e em planta da cobertura (arrumos)

Data: Dezembro 2013

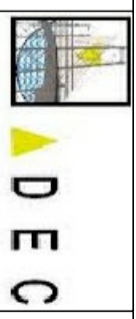
Desenho n.º: **3**



1,08



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

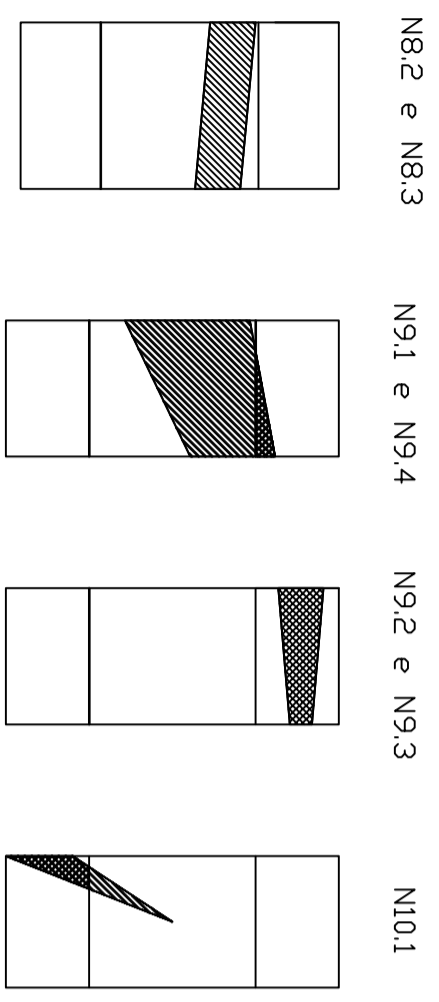
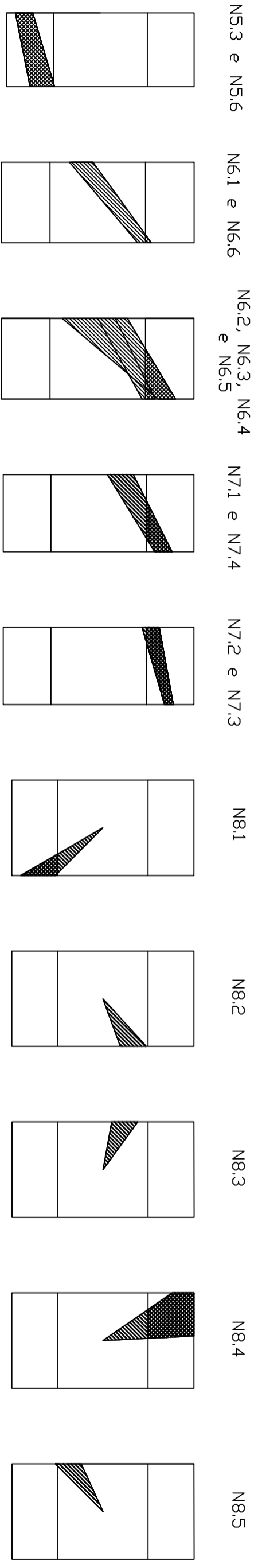
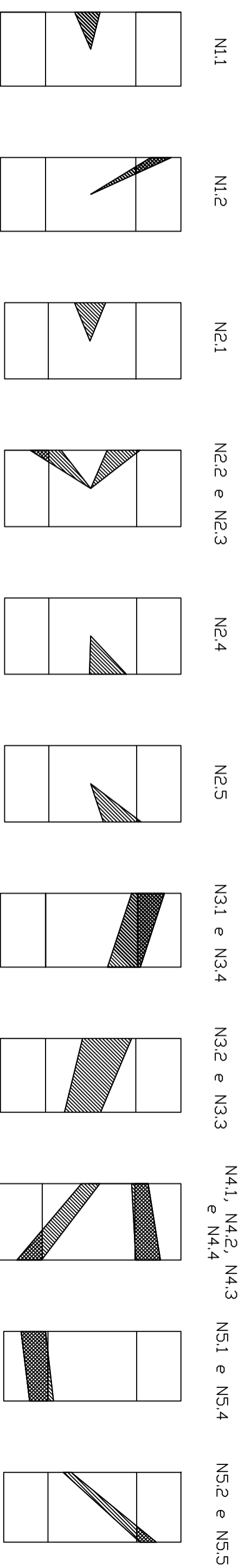
Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX


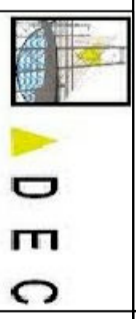


Escala: 1:10
Formato: A3

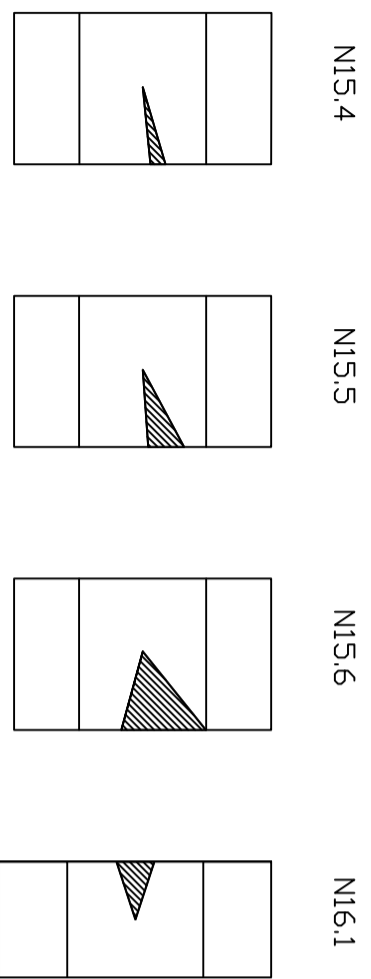
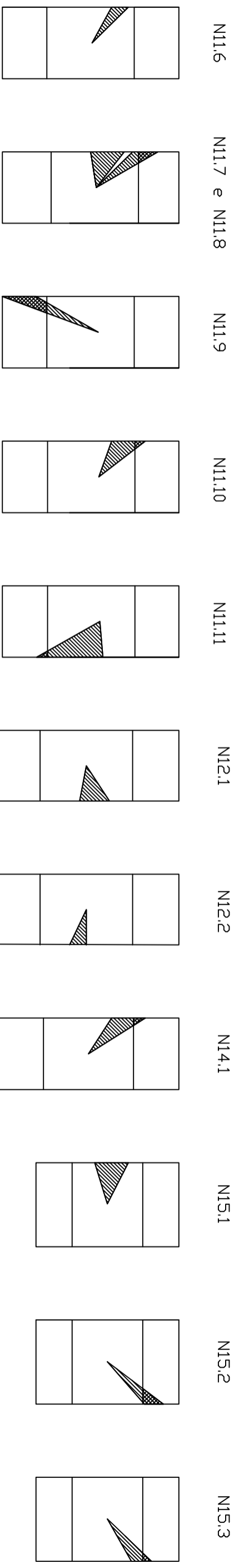
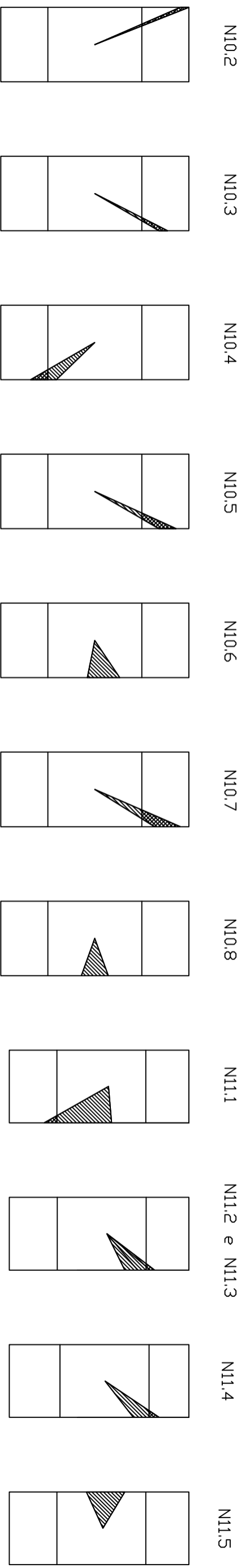
IV. Vista geral e em planta da cobertura (lanternim)

Data: Dezembro 2013

Desenho n.º: **4**



 <p>ISEL - ADEC Instituto Superior de Engenharia de Lisboa</p>  <p>Nome: Ana Soraia Almeida Cândido Número: 32704</p>		<p>Legenda:</p> <p> KAR total</p> <p> KAR marginal</p>	
<p>Trabalho Final de Mestrado</p> <p><i>Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX</i></p>		<p>Escala: 1:5</p> <p>Formato: A3</p>	<p>Nome: Ana Soraia Almeida Cândido</p>
<p>V. Cálculo do KAR total e marginal do pavimento (parte I)</p>		<p>Data: Dezembro 2013</p>	<p>Desenho n.º: 5</p>



ISEL - ADEC
 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
 Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado



Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

Escala: 1:5

Formato: A3

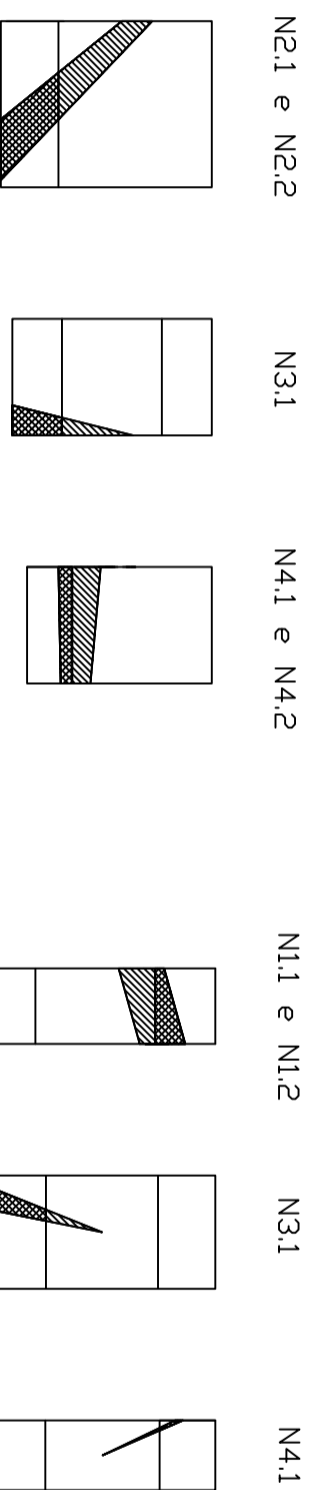
VI. Cálculo do KAR total e marginal do pavimento (parte 2)

Data: Dezembro 2013
 Desenho n.º: **6**

Legenda:
 KAR total
 KAR marginal


Lanternim

Arrumos



Legenda:

 KAR total

 KAR marginal



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido

Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

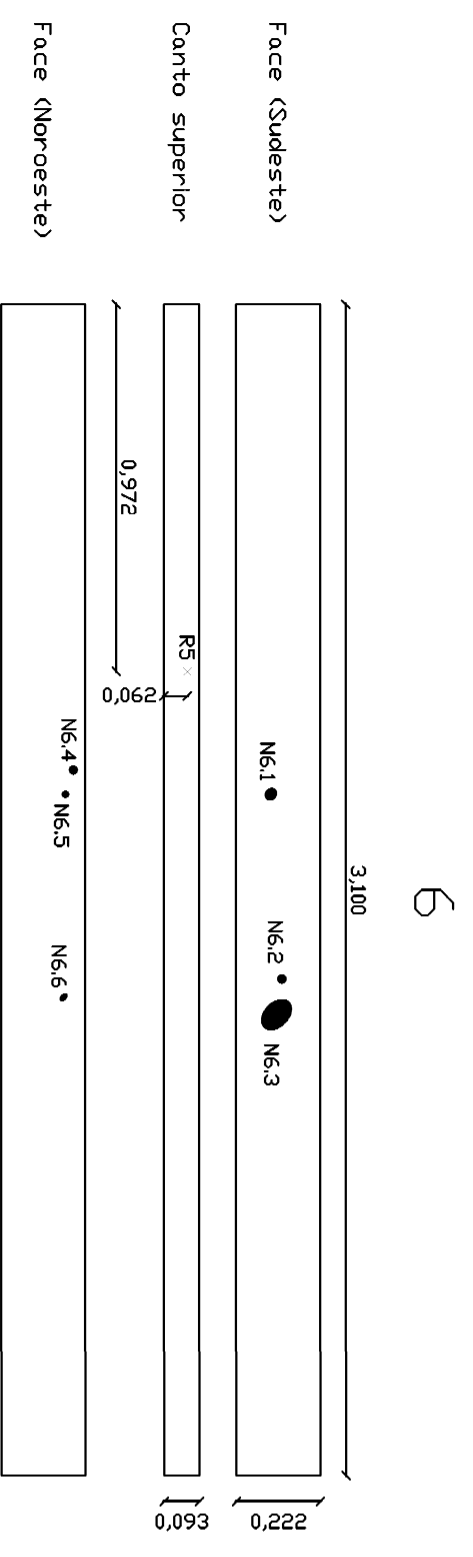
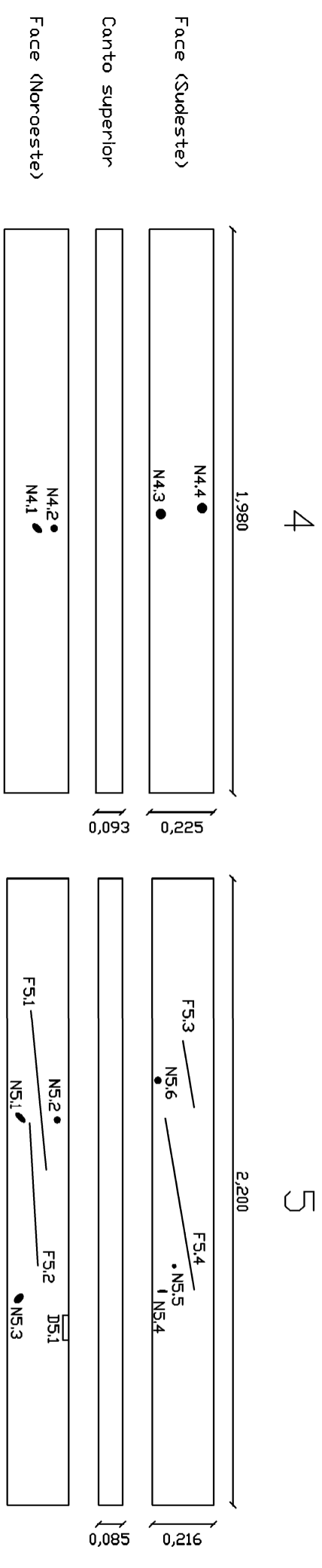
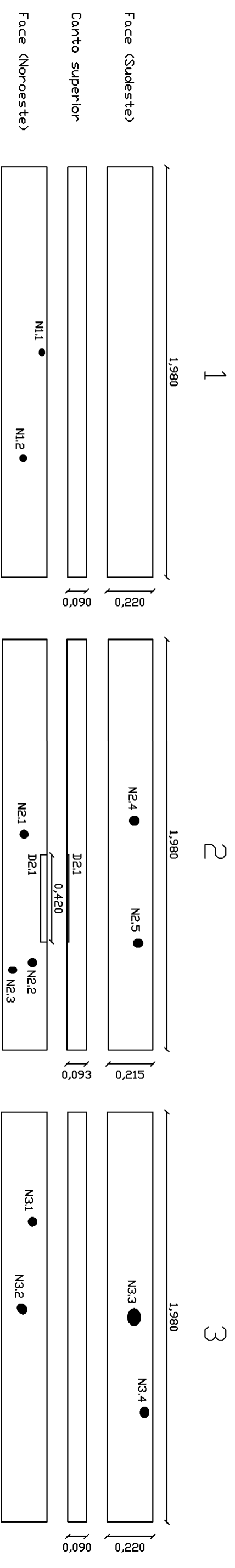
Escala: 1:5

Formato: A3

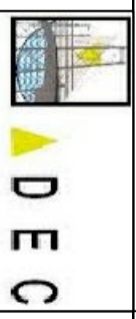
VII. Cálculo do KAR total e marginal da cobertura (lanternim e arrumos)

Data: Dezembro 2013

Desenho n.º: **7**



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



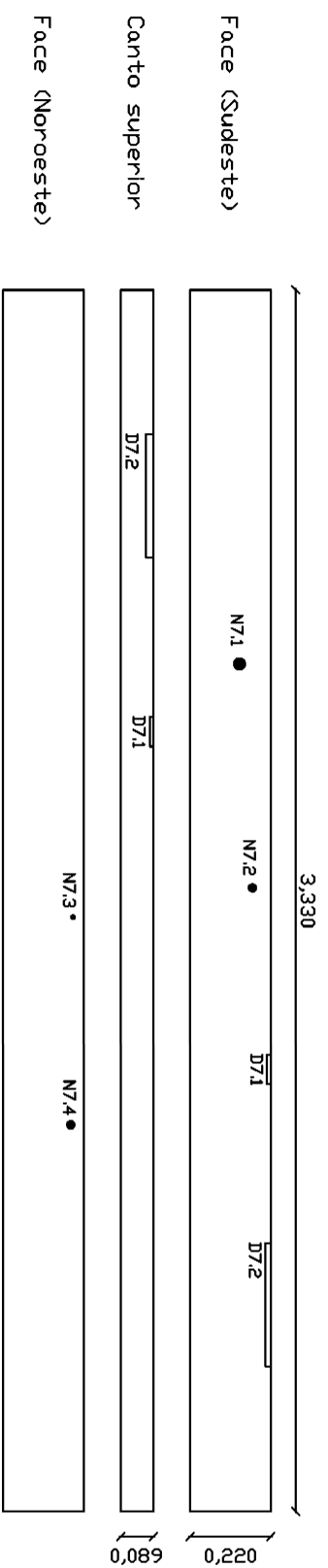
Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado
Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

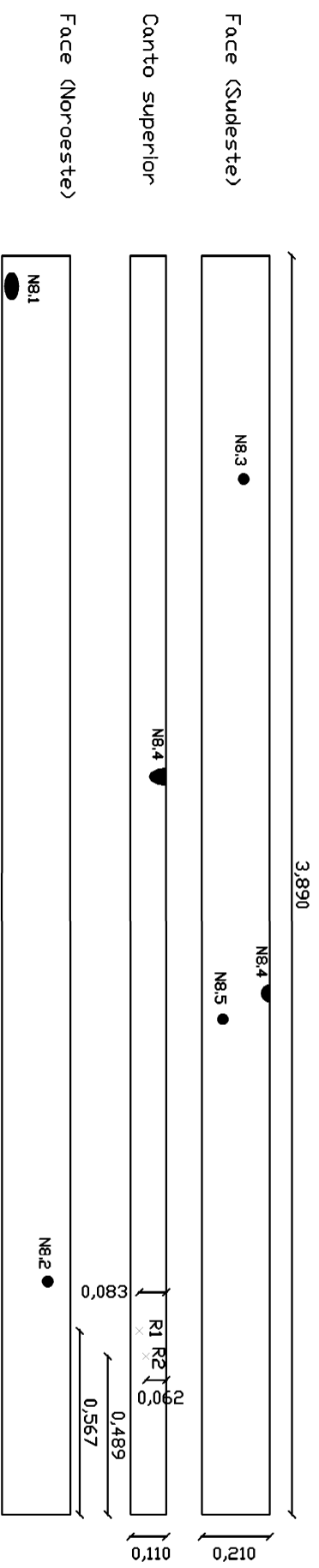
Legenda:
R - Localização dos ensaios com o Resistógrafo
N - N65
D - Descaio
F - Fendas

VIII. Avaliação dos defeitos dos elementos do pavimento (parte 1)

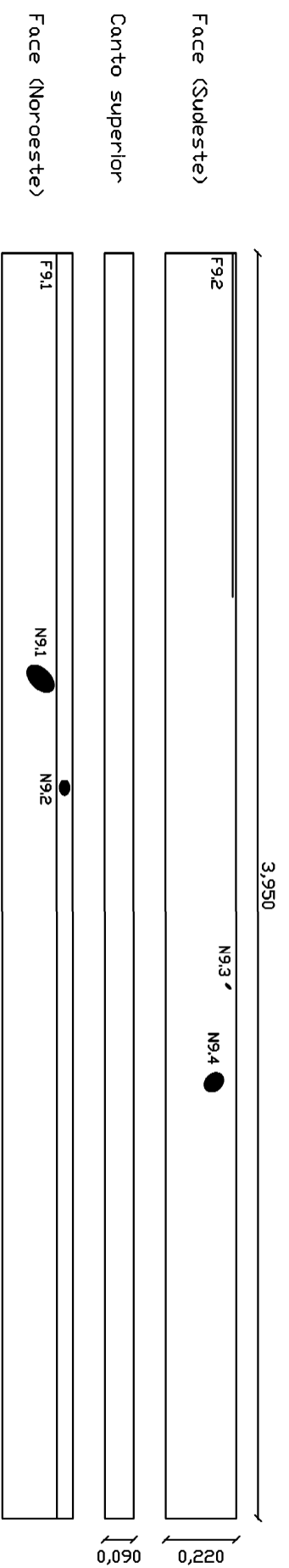
Escala: 1:20
Formato: A3
Data: Dezembro 2013
Desenho n.º: 8



8



9



Legenda:
 R - Localização dos ensaios com o Resistógrafo
 N - N65
 D - Descaio
 F - Fendas



ISEL - ADEC
 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
 Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

Escala: 1:20

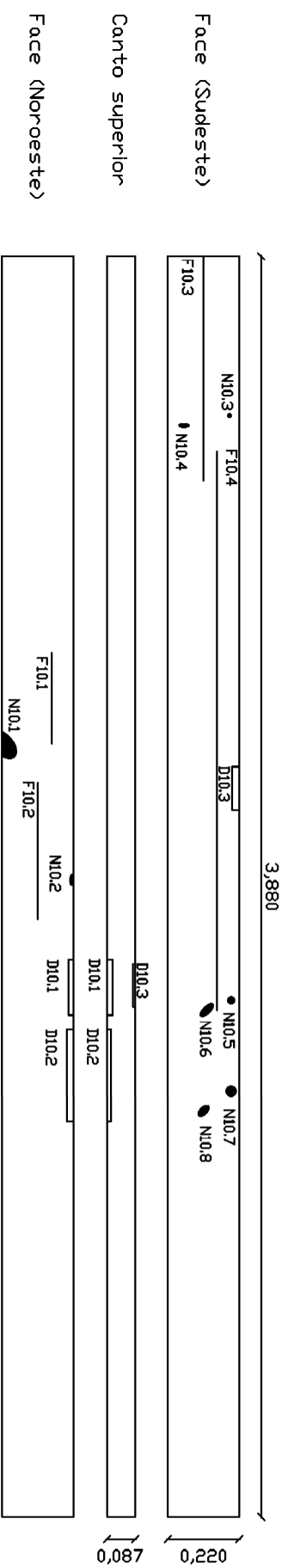
Formato: A3

IX. Avaliação dos defeitos dos elementos do pavimento (parte 2)

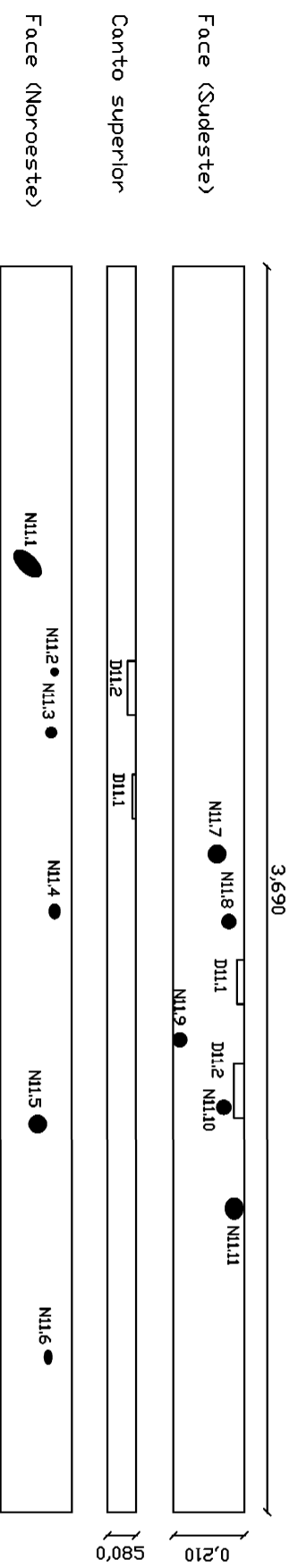
Data: Dezembro 2013

Desenho n.º: **9**

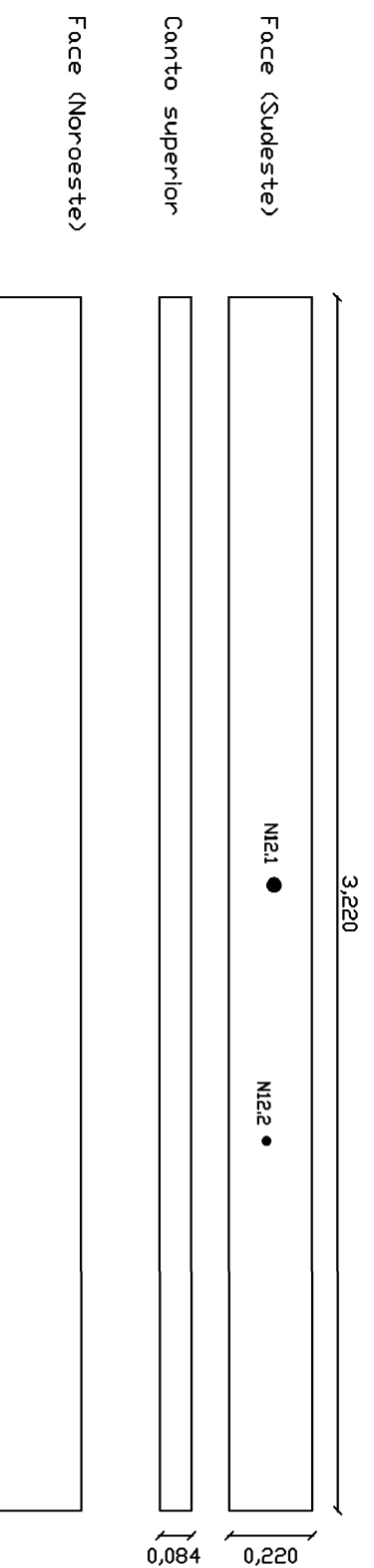
10



11



12



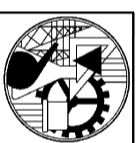
Legenda:

R - Localização dos ensaios com o Resistógrafo

N - N65

D - Descaio

F - Fendas



ISEL - ADEC
Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

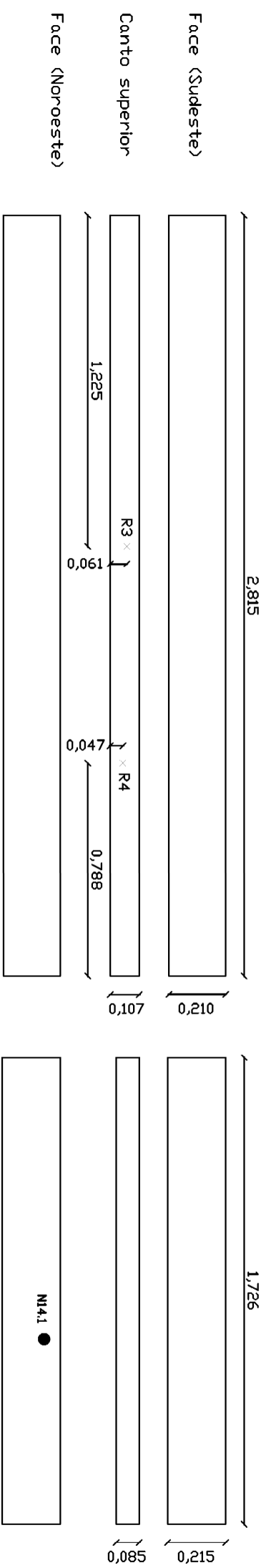
Escala: 1:20

Formato: A3

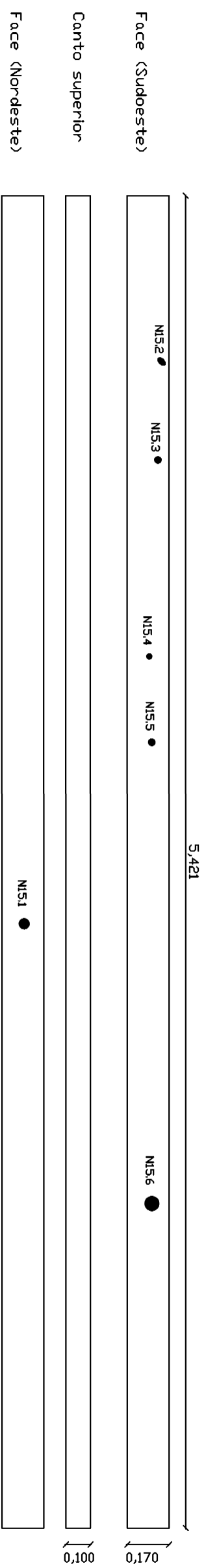
X. Avaliação dos defeitos dos elementos do pavimento (parte 3)

Data: Dezembro 2013
Desenho n.º: **10**

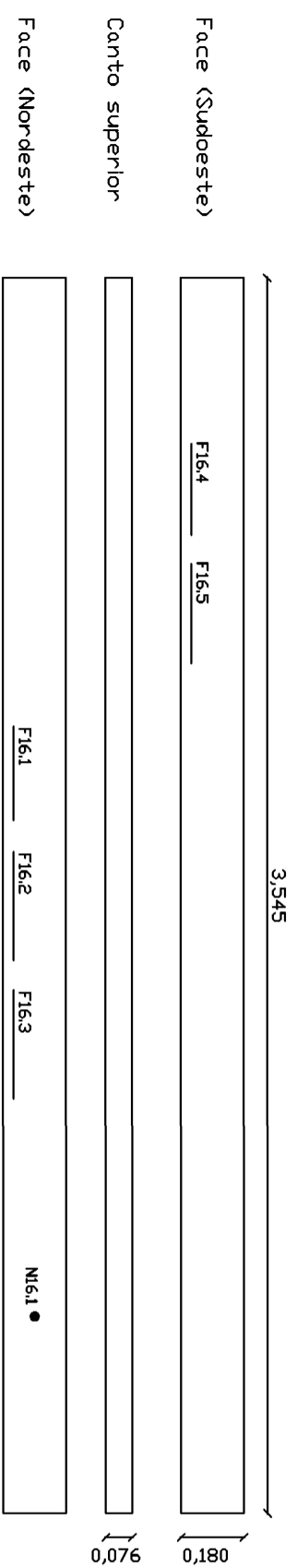
13



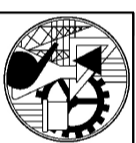
14



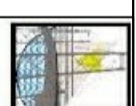
16



Legenda:
 R - Localização dos ensaios com o Resistógrafo
 N - N65
 D - Descaio
 F - Fendas



ISEL - ADEC
 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



ADEC

Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
 Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado

Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

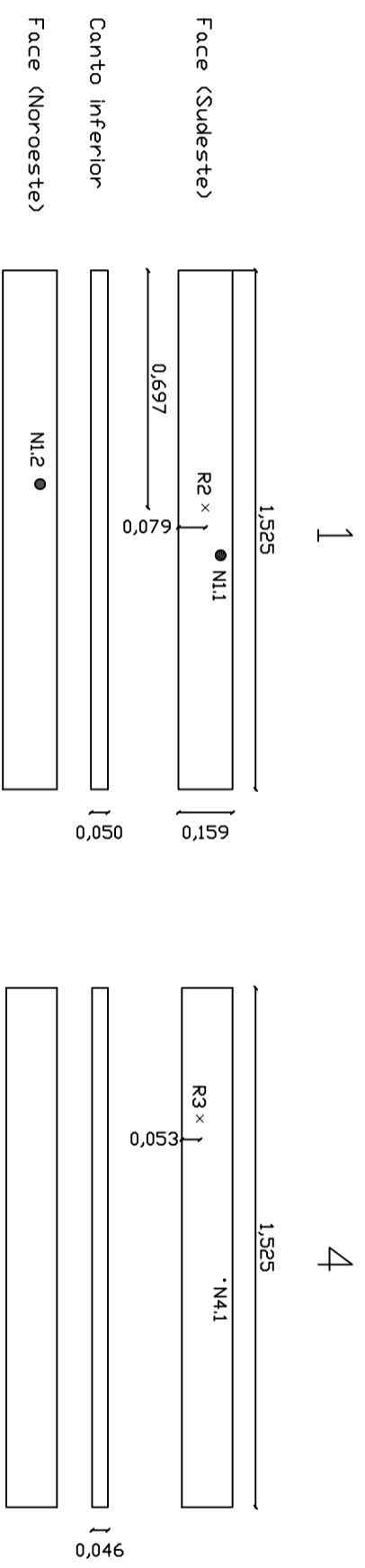
Escala: 1:20

Formato: A3

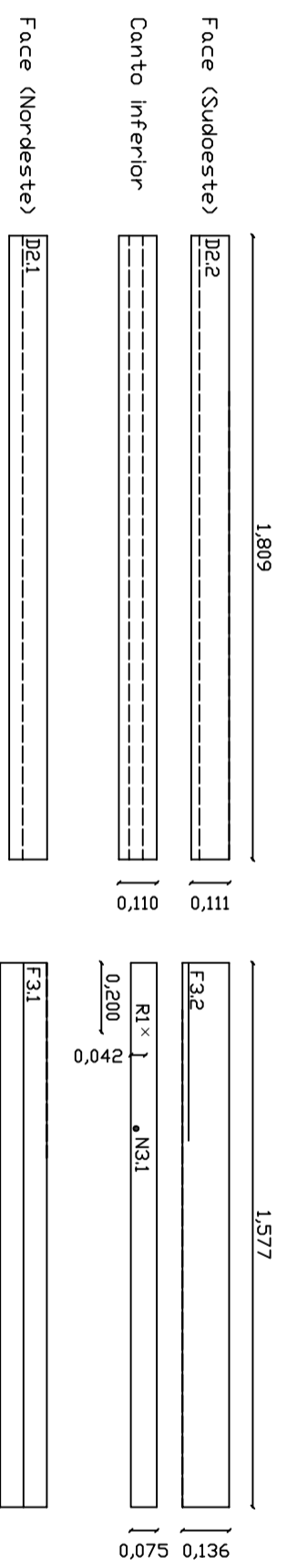
XI. Avaliação dos defeitos dos elementos do pavimento (parte 4)

Data: Dezembro 2013

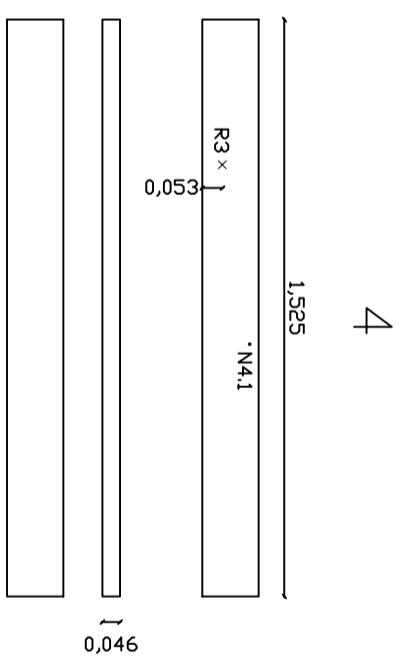
Desenho n.º: **11**



2



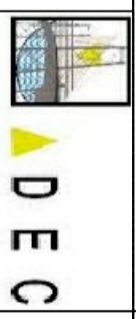
3



Legenda:
 R - Localização dos ensaios com o Resistógrafo
 N - N65
 D - Descaio
 F - Fendas



ISEL - ADEC
 Instituto Superior de Engenharia de Lisboa



Nome: Ana Soraia Almeida Cândido
 Número: 32704

Trabalho Final de Mestrado
Diagnóstico de estruturas de madeira em serviço num palacete do século XIX

Escala: 1:20
 Formato: A3

XII. Avaliação dos defeitos da cobertura (arrumos)

Data: Dezembro 2013
 Desenho n.º: 12

