



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Caracterização *in situ* dos elementos estruturais em madeira de um edifício situado no centro histórico de Viseu

Mónica Nicolau de Castro Mendonça

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Prof. Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva
Prof. Doutor Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita

Junho de 2023



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Caracterização *in situ* dos elementos estruturais em madeira de um edifício situado no centro histórico de Viseu

Mônica Nicolau de Castro Mendonça

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Prof. Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva

Prof. Doutor Esequiel Fernandes Teixeira Mesquita

Junho de 2023

Em memória do meu Pai

AGRADECIMENTOS

Ao iniciar este trabalho não imaginei o quanto precisaria da colaboração das pessoas envolvidas, e foram muitas, dedicaram parte do seu tempo, do seu conhecimento e algumas tornaram-se meus amigos, que levarei para a vida. Quero expressar meu profundo agradecimento, como se fosse possível em tão poucas palavras, pois durante o processo, de altos e baixos, estiveram sempre presentes para auxiliar e expressar uma palavra de incentivo. Com estas pessoas o trabalho tornou-se desafiador e a cada dia mais interessante. São elas:

Ao meu orientador, professor Paulo Costeira, do Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV), do Instituto Politécnico de Viseu (IPV), por quem tenho profunda admiração. Quero agradecer pela sua disponibilidade e prontidão, pelos conhecimentos partilhados, pela paciência e amizade demonstrada.

Ao professor Esequiel Mesquita, Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções | LAREB, Universidade Federal do Ceará - Brasil, pela disponibilidade e apoio durante todo o processo. Foi uma pessoa que inesperadamente, demonstrou-se logo como alguém que vinha para somar, sempre com muito conhecimento e paciência.

Ao professor José Padrão, que foi o principal responsável pela escolha do tema, que durante o curso me apresentou o tabique através da sua paixão contagiante, assim pude contar com todo o seu profundo conhecimento. Quero agradecer a sua disponibilidade e paciência. Tornou-se num amigo.

Ao técnico Marco Vinhanova, da ESTGV, do IPV, pela disponibilidade e apoio prestado durante os levantamentos, extração das amostras para os ensaios de caracterização dos materiais que constituem as paredes de tabique e os pavimentos de madeira. Sempre com um sorriso no rosto.

Ao engenheiro Rui Silva, do Instituto da Construção – IC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pela prontidão demonstrada na disponibilização dos equipamentos, sismógrafo e Resistograph®, que possibilitaram os ensaios de vibração ambiental e resistência das madeiras, e ainda contribuiu com todo o seu conhecimento na interpretação dos relatórios.

Ao Sr. José Figueiredo, proprietário do edifício objeto de estudo. Sempre um colaborador, sempre permitiu, sem criar dificuldades, que os levantamentos e os ensaios fossem realizados com total liberdade.

À arquiteta Cecília Anacleto Moreno, também professora do IPV, que disponibilizou as peças desenhadas do edifício existente, com a memória descritiva.

À colega Mariana Alves, aluna da ESTGV, do IPV, que me auxiliou nos trabalhos de campo, incansavelmente, com sol e com chuva, em domingos e feriados, sempre com a sua calma e também com um sorriso largo no rosto.

À Sociedade de Reabilitação Urbana de Viseu, nomeadamente ao Sr. Administrador Executivo, Dr. Jorge Martins, pela compreensão que necessitei por conciliar o trabalho e os estudos.

E finalmente, à minha família, filha e marido, que foram verdadeiros parceiros nesta empreitada fascinante.

RESUMO

A reabilitação de edifícios antigos tornou-se uma realidade, assumindo uma percentagem significativa do conjunto das obras, no panorama atual da construção civil. No entanto, os responsáveis por essas obras optam, muitas vezes, pela destruição parcial ou integral dos mesmos e, em particular das paredes de tabique e dos pavimentos de madeira, por desconhecimento, ou por facilitismo e, em muitos casos, estes elementos ainda se apresentam aptos a desempenhar a sua função (estrutural ou construtiva). Para se inverter esta tendência, é fundamental o conhecimento dos materiais e das técnicas empregues nestas construções, de modo a adotar os procedimentos exigidos em projetos de reabilitação, bem como obedecer aos princípios gerais de autenticidade, de reversibilidade e de compatibilidade.

Este trabalho pretende contribuir para o estudo que vem sendo desenvolvido no DEC - ESTGV, sobre o edificado antigo situado no centro histórico e urbano de Viseu, nomeadamente sobre as paredes de tabique e os pavimentos de madeira.

Inicialmente, faz-se uma revisão bibliográfica sobre a caracterização de paredes de tabique e pavimentos de madeira, assim como dos meios mais usuais de inspeção, de diagnóstico e de caracterização experimental nestas construções.

O estudo realiza-se num edifício do centro histórico de Viseu, o qual é objeto de um levantamento arquitetónico e estrutural, com a identificação dos pormenores construtivos mais relevantes, das tipologias das paredes de tabique e das soluções construtivas dos pavimentos de madeira. Este levantamento tem por finalidade recolher o máximo de informação possível, especialmente ao nível geométrico, do seu estado de conservação e das ligações existentes entre estas estruturas e a restante estrutura do edifício (paredes resistentes de alvenaria de pedra e pavimentos em estrutura de madeira).

Para avaliar o estado de conservação destes elementos de madeira é realizada uma inspeção e diagnóstico de patologias, complementada com uma campanha experimental *in situ* com um Resistograph® e um sismógrafo (ensaio de vibração ambiental). Também é avaliado o valor de humidímetro nos elementos de madeira das paredes de tabique, nos elementos do pavimento e nas argamassas de revestimento, neste último material, também, com a medição, em laboratório, do seu teor de água.

A análise dos resultados permitiu perceber o bom estado de conservação dos elementos de madeira estudados, obter as frequências naturais de vibração dos pavimentos de madeira com diferentes soluções estruturais e estimar a sua rigidez para as soluções mais correntes. Foi também possível confirmar que os resultados do Resistograph® se encontram em correspondência com os valores de humidímetro registados nas tábuas das paredes de tabique.

PALAVRAS-CHAVE: Paredes de tabique, Pavimentos de madeira, Ensaio experimental, Inspeção e diagnóstico, Humidade

ABSTRACT

The rehabilitation of old buildings has become a reality, assuming a significant percentage of all the works, in the current panorama of civil construction. However, those responsible for these works often opt for their partial or total demolition, particularly for the *tabique* walls and wooden floors, by ignorance or facility, and, in many cases, these elements are still able to perform their function (structural or constructive). To reverse this trend, it is essential to have knowledge of the materials behaviour and techniques used in these constructions, in order to adopt the procedures required in rehabilitation projects, as well as to obey the general principles of authenticity, reversibility and compatibility.

This thesis aims to contribute to the study that has been developed at DEC - ESTGV, on the old buildings located in the historic and urban centre of Viseu, particularly on *tabique* walls and wooden floors.

Initially, a bibliographic review is performed on the characterisation of *tabique* walls and wooden floors, as well as on the most usual means of inspection, diagnosis and experimental characterisation of these buildings.

The study is carried out in a building in the historical centre of Viseu, which is the object of an architectural and structural survey, with the identification of the most relevant constructive details, the typologies of the *tabique* walls and the constructive solutions of the wooden floors. This survey aims to collect as much information as possible, especially at the geometric level, its state of conservation and the existing connections between these structures and the remaining structure of the building (resistant stone masonry walls and wooden floors).

In order to evaluate the state of conservation of these timber elements, an inspection and pathology diagnosis is performed, complemented with an experimental campaign *in situ* with a Resistograph® and a seismograph (environmental vibration test). The moisture content in the wooden elements of the *tabique* walls, in the flooring elements and in the coating mortars is also evaluated with a protimeter moisture meter, in this latter material, its water content is also measured in the laboratory.

The analysis of the results made it possible to understand the good state of conservation of the studied wooden elements, to obtain the vibration natural frequencies of the wooden floors with different structural solutions and to estimate their stiffness for the most current solutions. It was also possible to confirm that the Resistograph® results are in correspondence to the moisture content evaluated with a protimeter moisture meter on the boards of the *tabique* walls.

KEYWORDS: *Tabique* walls, Wooden floors, Experimental tests, Inspection and diagnosis, Moisture

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE GERAL.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE QUADROS.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento Geral.....	1
1.2 Reabilitação em Portugal	2
1.3 Objetivos da Investigação	3
1.4 Estrutura do Trabalho.....	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 Paredes de Tabique	5
2.1.1 Função dos elementos de tabique	7
2.1.1.1 Paredes de tabique exteriores	8
2.1.1.2 Paredes de tabique interiores.....	8
2.1.2 Ligadores metálicos	10
2.1.3 Caracterização geométrica.....	12
2.2 Pavimento em Madeira	15
2.2.1 Comportamento estrutural	15
2.3 Inspeção e Diagnóstico	18
2.3.1 Principais patologias encontradas em edifícios antigos.....	19
2.3.2 Patologia dos elementos de madeira.....	20
2.4 Ensaaios de Caracterização.....	21
2.4.1 Ensaio de vibração ambiental	21
2.4.2 Ensaio com Resistograph®.....	24
2.4.3 Ensaio de teor de humidade	25
2.4.3.1 Ensaio de teor de humidade em argamassas	26
3. METODOLOGIA.....	29
3.1 Caso de Estudo.....	29
3.2 Procedimento Adotado.....	30
3.3 Levantamento arquitetónico e estrutural	31

3.3.1	Pormenores construtivos das paredes de tabique.....	36
3.3.1.1	Caracterização dos elementos de madeira das paredes de tabique	37
3.3.1.2	Identificação dos materiais de revestimento das paredes de tabique	41
3.3.2	Pormenores construtivos dos pavimentos de madeira	45
4.	INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO	51
4.1	Principais Patologias	51
4.1.1	Fendilhação e fissuração.....	51
4.1.2	Humidade.....	53
4.1.3	Destacamento do reboco.....	54
4.2	Outros Danos.....	55
4.2.1	Descamação da tinta	55
4.2.2	Sujidade	55
4.2.3	Apodrecimento da caixilharia de madeira e vidros partidos	56
4.2.4	Desalinhamento das fiadas das telhas.....	58
4.2.5	Degradação da rede de águas pluviais na cobertura	59
4.3	Campanha Experimental <i>In Situ</i>	60
4.3.1	Ensaio de vibração ambiental	60
4.3.2	Ensaio com RESISTOGRAPH®.....	61
4.3.2.1	Localização dos ensaios no pavimento	62
4.3.2.2	Ensaio nas tábuas das paredes de tabique	63
4.3.3	Ensaio de teor de humidade	64
4.3.3.1	Nas argamassas	65
4.3.3.2	Nas tábuas de madeira.....	67
4.3.3.3	Nas vigas dos pavimentos de madeira	67
5.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	69
5.1	Ensaio nos Pavimentos de Madeira	69
5.1.1	Ensaio de vibração ambiental	69
5.1.2	Ensaio com Resistograph®.....	72
5.1.3	Resultado das medições com o humidímetro	75
5.1.4	Análise dos resultados dos ensaios de vibração ambiental.....	76
5.1.4.1	Cálculo da frequência teórica.....	76
5.1.4.2	Análise dos resultados das frequências	80
5.1.4.3	Efeito da degradação na madeira nos resultados das frequências.....	82
5.2	Ensaio nas Paredes de Tabique.....	82

5.2.1 Ensaio com Resistograph®.....	82
5.2.2 Ensaio do teor de água e do humidímetro nas argamassas	85
5.2.3 Medições com o humidímetro nos elementos de madeira.....	89
6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	91
6.1 Desenvolvimentos Futuros.....	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
APÊNDICES	101
APÊNDICE A – Plantas com Indicação das Paredes de Tabique.....	103
APÊNDICE B - Plantas com Disposição das Vigas dos Pavimentos	109
APÊNDICE C – Localização dos Ensaios com Sismógrafo e Resistograph®	113
APÊNDICE D – Caracterização das Dimensões das Paredes.....	117
APÊNDICE E – Resultados do Resistograph® em Pavimentos.....	141
APÊNDICE F – Resultados do Resistograph® em Paredes de Tabique	143
ANEXOS.....	147
ANEXO A – Classificação dos Diversos Padrões Construtivos de PT	149
ANEXO B – Classificação para Caracterização Geométrica de PT	151
ANEXO C – Dados Climáticos de Viseu.....	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Exemplo de elementos construtivos de uma parede de tabique (adaptado [3]).....	5
Figura 2: Localização em Portugal dos diversos tipos de construção utilizando a material terra [1]	6
Figura 3: Elementos construtivos de tabique	7
Figura 4: Exemplos de paredes exteriores em tabique [7]	8
Figura 5: Arquétipo estrutural da casa de ressalto medieval [11]	9
Figura 6: Nomenclatura de uma estrutura horizontal dos edifícios antigos [11]	10
Figura 7: Evolução dos pregos/cavilhas utilizados [8].....	11
Figura 8: Exemplo da estrutura de madeira do tabique [7]	12
Figura 9: Ligação entre uma parede interior de tabique a nível superior e inferior [5]	13
Figura 10: Esquema do posicionamento das tábuas e das ripas de fasquio [16].....	13
Figura 11: Secções transversais das tábuas [5]	14
Figura 12: Fasquios - tipos de secção transversal [5].....	14
Figura 13: Diferenças entre sistemas construtivos - as designações maior e menor, referem-se à comparação dos dois sistemas apontados – (adaptado de [13])	14
Figura 14: Classificação segundo a sua tipologia construtiva [13].....	15
Figura 15: Pormenorização da configuração de paredes de tabique [8]	16
Figura 16: Pavimento de madeira de um edifício antigo de alvenaria. Vigas de secção transversal circular [17].....	17
Figura 17: Pavimento de madeira de um edifício antigo de alvenaria. Vigas de secção transversal retangular [17].....	17
Figura 18: Anomalias correntes do interior dos edifícios e respetivas causas (adaptado de [21])	20
Figura 19: Diferentes patologias nas construções em madeira (adaptado de [26]).....	22
Figura 20: Sismógrafo (modelo GeoSIG GSR-18)	23
Figura 21: Resistograph®	24
Figura 22: Modelos de Humidímetros	26
Figura 23: Localização do edifício em estudo [45].....	29
Figura 24: Alçado principal do edifício	30
Figura 25: Alçado posterior.....	30
Figura 26: Alçado principal do edifício	31
Figura 27: Corte transversal C-G	32
Figura 28: Paredes de alvenaria de pedra do Piso 0	33
Figura 29: Paredes do Piso 1	34
Figura 30: Paredes do Piso 2	34

Figura 31: Paredes do Piso 3	35
Figura 32: Janelas de inspeção tipo.....	36
Figura 33: Materiais utilizados para a abertura das janelas de inspeção nas PT.....	36
Figura 34: Constituição e estado de conservação das PT.....	37
Figura 35: Classificação dos padrões construtivos proposta para as PT deste edifício (adaptado de [8])	37
Figura 36: Principais dimensões caracterizadas nas paredes de tabique (adaptado de [13]) ...	38
Figura 37: Esquema da uma PT com tábuas diagonais (PT 12.3).....	39
Figura 38: Paredes de tabique com diagonais PT 4.2 e PT 12.3	39
Figura 39: Parede de tabique PT 4.2 no encontro com parede exterior em tabique com diagonal	40
Figura 40: Exemplos de ligações de PT a parede de tijolo maciço.....	40
Figura 41: Ligação entre duas PT ortogonais.....	41
Figura 42: Argamassa terrosa com palha	42
Figura 43: Argamassa de enchimento e preenchimento.....	42
Figura 44: Diferentes argamassas de enchimento e revestimento, com coloração diferenciada	42
Figura 45: Encontro entre parede de tabique e parede de tijolo maciço	43
Figura 46: Encontro de uma parede interior de tabique com pavimento	44
Figura 47: Representação da solução construtiva dos pavimentos de madeira [5]	45
Figura 48: Representação do pavimento do piso 1	45
Figura 49: Detalhe das dimensões das vigas do pavimento no 1.º compartimento do piso 1 (corte representativo).....	46
Figura 50: Representação do pavimento do piso 2	46
Figura 51: Detalhe das dimensões das vigas do pavimento do piso 2 (corte representativo)..	46
Figura 52: Detalhe das dimensões das vigas da maioria do pavimento do piso 3 (corte representativo).....	47
Figura 53: Detalhe das dimensões das vigas da zona posterior do pavimento do piso 3 (corte representativo).....	47
Figura 54: Planta estrutural do piso 3.....	47
Figura 55: Representação do pavimento do piso 3	48
Figura 56: Zona de transição no piso 3 entre os pavimentos de madeira (interior) e de betão (exterior).....	48
Figura 57: Revestimento do teto em madeira.....	49
Figura 58: Revestimento da cobertura	49
Figura 59: Exemplos de fissuração	52
Figura 60: Exemplos de fendilhação estrutural.....	52

Figura 61: Exemplo de infiltração.....	53
Figura 62: Viga do pavimento do piso 3 exposto à humidade	54
Figura 63: Destacamento de reboco em paredes de tabique	54
Figura 64: Destacamento de tinta do teto do pavimento do piso 2	55
Figura 65: Exemplo de sujidade ao longo da fachada do alçado principal	56
Figura 66: Exemplo de danos existentes nas caixilharias de madeira.....	57
Figura 67: Localização dos danos na caixilharia de madeira.....	57
Figura 68: Vidros partidos - caixilharias.....	58
Figura 69: Localização dos vidros partidos – caixilharias	58
Figura 70: Exemplo de danos existentes na cobertura	59
Figura 71: Localização dos danos visíveis na cobertura	59
Figura 72: Danos no sistema de drenagem da cobertura.....	60
Figura 73: Utilização de sismógrafo na identificação dinâmica de um pavimento de madeira.....	60
Figura 74: Planta do piso 1 com a localização do posicionamento do sismógrafo.....	61
Figura 75: Exemplo de gráfico obtido num ensaio com o Resistograph®	62
Figura 76: Planta do piso 3 com a localização dos ensaios com o Resistograph® em vigas... ..	63
Figura 77: Realização do ensaio com Resistograph® em vigas	63
Figura 78: Planta do piso 2 com a localização dos ensaios com o Resistograph® em PT	64
Figura 79: Realização do ensaio com Resistograph® em paredes de tabique	64
Figura 80: Utensílios utilizados na determinação do teor de humidade e do teor de água	65
Figura 81: Marcação das paredes para a realização das medições com o humidímetro	66
Figura 82: Realização das medições com o humidímetro nas argamassas de recobrimento ...	66
Figura 83: Armazenamento e pesagem das amostras em laboratório	67
Figura 84: Processo de secagem das amostras em laboratório.....	67
Figura 85: Ensaio com o humidímetro nas tábuas de madeira das PT.....	68
Figura 86: Ensaio com o humidímetro nas vigas do piso 1	68
Figura 87: Ensaio com humidímetro nas vigas de madeira	68
Figura 88: S1.1 – Pavimento do Piso 1	71
Figura 89: S1.2 – Pavimento do Piso 2	71
Figura 90: S1.3 – Pavimento do Piso 3	71
Figura 91: S2.3 – Pavimento do Piso 3	72
Figura 92: Pav. 1 - R.PAV.1.1 (b=11cm; h=13cm) - Valor médio = 149.....	73
Figura 93: Pav.2 – R.PAV.1.2 (b=10cm; h=20cm) - Valor médio = 203.....	73
Figura 94: Pav.3 – R.PAV.2.3 (b=7,5cm; h=18cm) – viga do piso 3- Valor médio = 183	74
Figura 95: Pav.3 – R.PAV.3.3 (b=7,5cm; h=18cm) - Valor médio = 229.....	74

Figura 96: Planta de localização dos ensaios com o Resistograph® no piso 3.....	75
Figura 97: Vigas com maior valor de humidímetro – R_PAV 3.3	76
Figura 98: Secção média dos elementos de madeira que compõem o pavimento 1 (Pav. 1 – S1.1)	78
Figura 99: Secção média dos elementos de madeira que compõem o pavimento 2 (Pav. 2 – S1.2)	78
Figura 100: Secção média dos elementos de madeira que compõem parte do pavimento 3 (Pav. 3 – S1.3)	78
Figura 101: Secção média dos elementos de madeira que compõem parte do pavimento 3 (Pav. 3 – S2.3)	78
Figura 102: Esquema, em corte, das 4 hipóteses consideradas no cálculo das frequências dos 3 pavimentos	79
Figura 103: PT 8.1 (e = 4,10 cm) - Parede de tabique entre piso 1 e piso 2 - Valor médio = 224	83
Figura 104: PT 5.2 (e = 4,33 cm) - Parede de tabique entre piso 1 e piso 2 - Valor médio = 151	84
Figura 105: PT 6.3 (e = 3,45 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3 - Valor médio = 219	84
Figura 106: PT 6.3 com a localização das amostras de argamassas recolhidas (a vermelho) .	85
Figura 107: Isotérmicas de absorção de humidade na argamassa e em outros materiais (segundo Straube [55]).....	87
Figura 108: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 9.1.....	88
Figura 109: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 5.2.....	88
Figura 110: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 6.3.....	89

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Classificação dos níveis do edifício, de acordo com a localização da parede inspecionada	32
Quadro 2: Área útil de cada piso do edifício.....	33
Quadro 3: Resumo das dimensões das tábuas verticais e das ripas de fasquio das PT interiores e exteriores	38
Quadro 4: Valor médio da espessura da argamassa das PT por piso	43
Quadro 5: Valor médio da espessura da argamassa das PT interiores e exteriores do edifício	43
Quadro 6: Comparação das dimensões das tábuas verticais das PT	44
Quadro 7: Comparação das dimensões das ripas de fasquio das PT.....	44
Quadro 8: Dimensões médias das vigas dos pavimentos do edifício.....	48
Quadro 9: Registo dos resultados com o Sismógrafo (modo de vibração na direção vertical)	69
Quadro 10: Frequências fundamentais de vibração medidas <i>in situ</i> por Ilharco <i>et al.</i>	70
Quadro 11: Frequência de passos durante a caminhada (adaptado de [50])	70
Quadro 12: Dimensões das vigas e resultados do Resistograph®	72
Quadro 13: Resultado do teor de água registado nas vigas de madeira dos pavimentos	76
Quadro 14: Propriedades mecânicas da madeira maciça [51].....	77
Quadro 15: Características geométricas médias das secções dos elementos de madeira dos pavimentos	79
Quadro 16: Valores das ações permanentes utilizados no cálculo das frequências	79
Quadro 17: Cálculo da frequência teórica para a 1.ª hipótese.....	80
Quadro 18: Cálculo da frequência teórica para a 2.ª hipótese.....	80
Quadro 19: Cálculo da frequência teórica para a 3.ª hipótese.....	80
Quadro 20: Cálculo da frequência teórica para a 4.ª hipótese.....	80
Quadro 21: Quadro resumo comparativo entre as frequências experimentais e teóricas.....	81
Quadro 22: Comparação entre os valores de Resistograph® e a frequência experimental	82
Quadro 23: Resultados com o Resistograph® nas Paredes de Tabique.....	83
Quadro 24: Valores obtidos do teor de humidade na argamassa da PT 9.1	85
Quadro 25: Valores obtidos do teor de humidade na argamassa da PT 5.2.....	86
Quadro 26: Valores obtidos do teor de humidade na argamassa da PT 6.3.....	86
Quadro 27: Medições da humidade relativa na superfície da argamassa de revestimento das PT	87
Quadro 28: Valores da humidade relativa nas tábuas de madeira das PT.....	90

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento Geral

As construções históricas e suas envolventes perduram até aos nossos dias como testemunho das tradições das gerações do passado, refletindo uma parte da história cultural, patrimonial, social, mas também a história da evolução da construção de cada país. Estas construções evidenciam assim, boas soluções da arte de construir, sendo o nosso dever manter a sua autenticidade para as gerações futuras, tendo por base os princípios da reabilitação.

Quando se fala em reabilitação, deve-se sempre ter em mente, os fatores que impulsionam cada vez mais a transformação do edificado existente, que para além de permitir a valorização de emblemáticas construções arquitetónicas e a preservação histórica da cidade, permite dar uma nova utilidade às construções que possam estar sem uso e explorar as potencialidades do edificado que, por vezes, estão em situação de abandono, edifícios devolutos que podem comprometer a segurança dos cidadãos.

Valorizar o património edificado, resolver o défice habitacional, proporcionar o arrendamento acessível através de programas de reabilitação com investimento público, tornar as cidades mais agradáveis e culturalmente interessantes, promover o desenvolvimento económico das cidades, nomeadamente dos Centros Históricos, são alguns dos fatores que devem ser considerados na decisão de reabilitar. Muito relevante, também, o conceito da sustentabilidade, tema muito abordado nos últimos tempos dentro da economia circular, que está assente na reutilização de materiais em toda a cadeia produtiva da construção, uma vez que a escassez dos recursos naturais conduz ao aumento do custo da produção da quantidade de energia para a sua exploração, muitas vezes de fontes poluidoras, causando gravíssimos impactos ambientais.

Com o advento do cimento Portland, no início do século XX, tornou-se desafiador manter as construções antigas, porque o novo material e os novos métodos construtivos permitiram construir muito mais rapidamente quando comparados com a técnica antiga, quase artesanal. As técnicas construtivas com uso do cimento Portland contribuíram para o desenvolvimento mais rápido do número de edifícios e do surgimento de edifícios mais altos.

Outro grande desafio para a reabilitação é a mão de obra especializada, tendo em consideração que muitos dos materiais e sistemas construtivos utilizados nas construções antigas foram cada vez menos aplicados e que nessa época o conhecimento era passado de

geração para geração, pois as técnicas construtivas eram muitas vezes artesanais. Assim, torna-se fundamental o conhecimento dessas técnicas construtivas e dos materiais, o que pode ser efetuado através da realização de estudos em construções antigas existentes. Desta forma pode-se melhorar as futuras intervenções de reabilitação.

Neste sentido, conhecer o edificado, não só na sua generalidade, mas também com o maior detalhe possível, através de estudos que envolvam a inspeção, o diagnóstico e a realização de ensaios experimentais *in situ* e em laboratório sobre os materiais ou elementos construtivos e estruturais, é um contributo relevante para a valorização do património e para que as intervenções sejam cuidadas e compatíveis com as exigências.

1.2 Reabilitação em Portugal

Durante séculos, a construção recorreu sistematicamente aos mesmos materiais “naturais” dominantes. A madeira, a pedra, a areia, o barro e a cal formaram, assim, uma tendência no que diz respeito à construção típica portuguesa.

Portugal é um país marcado pela grande quantidade de edifícios que caracterizam as diferentes épocas históricas, associadas a distintos estilos arquitetónicos, sendo de todo o interesse que se preserve o seu valor patrimonial através de operações de restauro e reabilitação, com vista à preservação do seu valor cultural. As grandes cidades, de um modo geral, são caracterizadas pela degradação temporal e por carências físicas do edificado, resultantes da inexistência de operações de manutenção. Esta ausência de cuidados provoca uma degradação profunda dos elementos construtivos constituintes dos edifícios, e em consequência surge o comprometimento da sua segurança e o aumento dos custos associados às intervenções de reabilitação.

Em Portugal, há uma grande presença das paredes de tabique em edifícios antigos, portanto devem ser estudadas ao pormenor, por fazerem parte integrante dos edifícios, tanto na função de compartimentação, quanto efetivamente parte do travamento da estrutura, conjuntamente com os pavimentos de madeira. Com um estudo detalhado, as informações auxiliam no desenvolvimento do projeto de estabilidade, que deve ser desenvolvido com o intuito de se preservar as características estruturais do edifício mantendo-se, tanto quanto o possível, os seus elementos estruturais ainda que reabilitados ou reforçados.

As dificuldades encontradas em Portugal relativamente às reabilitações de edifícios antigos construídos com recurso a paredes de tabique, não são diferentes das existentes noutros países, destacando-se a escassez de recursos humanos qualificados.

Num país quase milenar, como Portugal, a reabilitação deve ser encarada como uma estratégia à nível nacional, promovendo a sustentabilidade ambiental e a regeneração dos centros históricos, maioritariamente abandonados.

1.3 Objetivos da Investigação

O objetivo desta investigação é complementar o estudo que vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (DEC – ESTGV), sobre o edificado antigo situado no centro urbano de Viseu, nomeadamente sobre as paredes de tabique, acrescentando ensaios *in situ* com Resistograph® (paredes e pavimentos) e sismógrafo (pavimentos), além do ensaio com o humidímetro nas tábuas constituintes da parede de tabique, assim como nas argamassas de revestimento das mesmas.

Com este trabalho pretende-se:

- Efetuar uma revisão bibliográfica sobre as paredes de tabique de Viseu (e sua região) e sobre os ensaios que se pretendem realizar;
- Realizar uma campanha de inspeção e diagnóstico ao edifício e às paredes de tabique em estudo;
- Realizar uma campanha de ensaios experimentais *in situ* que pretendem avaliar o comportamento estrutural de alguns elementos de madeira, designadamente os pavimentos e as paredes de tabique;
- Analisar e interpretar os resultados obtidos, comparando-os com outros ensaios idênticos já realizados.
- Validar os resultados através da comparação com modelos teóricos já desenvolvidos;
- Fornecer informações que possam vir a ser relevantes para futuros trabalhos de conservação e/ou reabilitação de edifícios situados em centros históricos, em particular os da cidade de Viseu.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos distintos.

No Capítulo 1 faz-se o enquadramento do trabalho, estabelecem-se os objetivos pretendidos e descreve-se a estrutura do mesmo.

A revisão bibliográfica sobre a investigação realizado no domínio das construções em parede de tabique, em pavimento de madeira e sobre a relevância da inspeção e diagnóstico das mesmas é apresentada no Capítulo 2.

O Capítulo 3 inicia-se com identificação do edifício objeto deste estudo, seguindo-se a apresentação da metodologia adotada para a concretização dos objetivos propostos e terminando com a caracterização do levantamento arquitetónico e estrutural realizado no edifício em análise.

No Capítulo 4 são resumidos os principais aspetos da inspeção e diagnóstico realizadas, apresentando-se as principais patologias e danos encontrados no edifício e descrevendo a campanha de ensaios *in situ* que se executaram com o propósito de avaliar o estado de conservação de alguns elementos construtivos (paredes de tabique e pavimentos de madeiras).

O Capítulo 5 é destinado à apresentação e discussão dos resultados obtidos na campanha experimental, dividindo a análise para os pavimentos de madeira maciça e para as paredes de tabique. Para os pavimentos foram estimadas as frequências próprias e comparadas com as obtidas experimentalmente através do ensaio de vibração ambiental, e procurou-se fazer uma correlação entre a rigidez dos pavimentos e os resultados do Resistograph®. No caso das paredes, comparou-se a distribuição do teor de água nas argamassas de revestimento, obtidos em laboratório, com os valores do humidímetro. Ainda nestas paredes, procurou-se correlacionar os resultados do Resistograph® nos elementos de madeira com os valores medidos com o humidímetro.

Para finalizar, no Capítulo 6, apresentam-se as conclusões obtidas neste estudo e algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Paredes de Tabique

De forma simplificada, um elemento construtivo de tabique é constituído por uma estrutura de madeira revestida em ambas as faces por um material terroso. A utilização frequente da madeira como principal material de construção explica-se por ser um material fácil de transportar, fácil de trabalhar e que era barato por existir em abundância no país.

De acordo com Cardoso (2013) e Cepeda (2009) [1, 2], um elemento construtivo de tabique, como por exemplo uma parede, consiste na pregagem de um fasquiado de ripas finas de madeira, dispostas usualmente na horizontal, em ambos os lados, sobre as tábuas de maiores dimensões colocadas geralmente na vertical. Sobre a estrutura resistente de madeira anteriormente elaborada, é colocado um material à base de terra, de origem argilosa ou siltosa, havendo por vezes a adição de cal, palha ou outras fibras vegetais, preenchendo os vazios existentes (Figura 1).

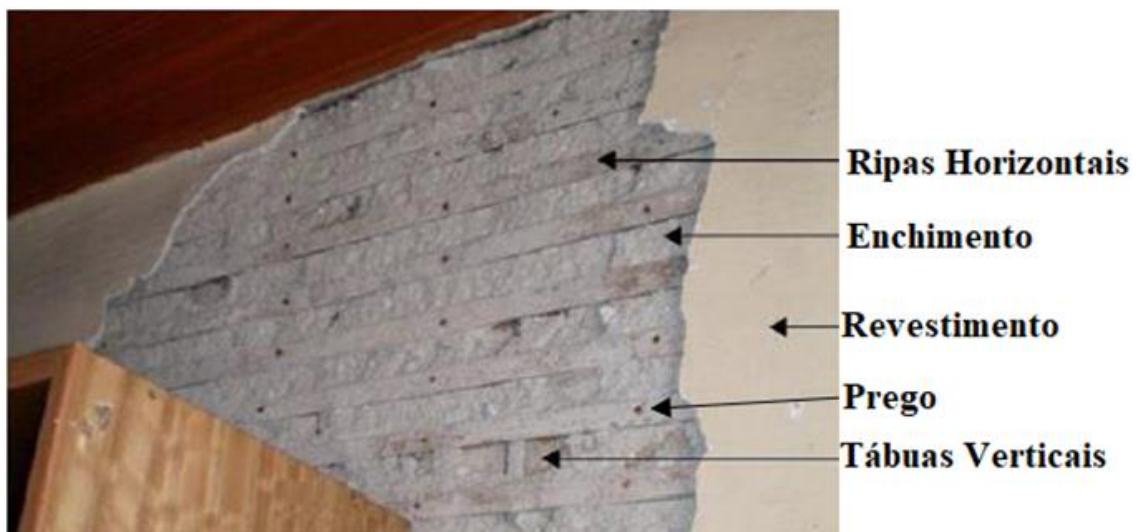


Figura 1: Exemplo de elementos construtivos de uma parede de tabique (adaptado [3])

Em Portugal encontram-se vestígios de construções, que rondam o século XVII, no Norte do país, em especial em Trás-os-Montes, Alto Douro, na Beira Baixa, no Ribatejo e no Alentejo. Na Figura 2 ilustram-se as principais áreas com maior incidência de construções que utilizam terra no seu processo construtivo.

Em Portugal, até ao início do século XX, era prática corrente, o recurso ao tabique como técnica construtiva, nomeadamente em paredes divisórias. Uma técnica que nos últimos anos

caiu em desuso devido ao facto da utilização em larga escala de materiais como o betão armado ou a alvenaria de tijolo cerâmico.

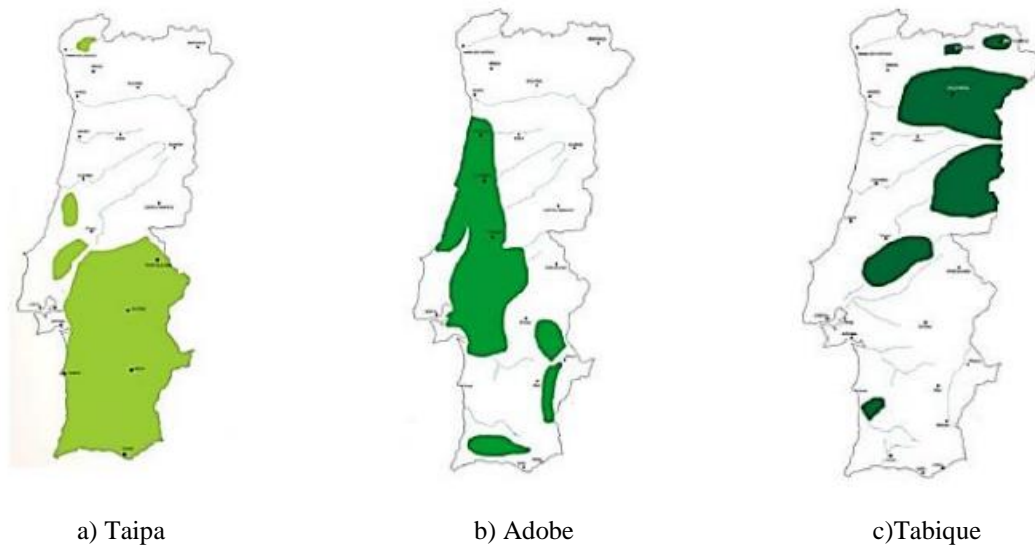


Figura 2: Localização em Portugal dos diversos tipos de construção utilizando a material terra [1]

O tabique é uma técnica construtiva interessante, porque recorre à aplicação de materiais naturais localmente disponíveis, e não recorre a processos industriais nem a equipamentos específicos que consumam elevadas quantidades de energia ou emitam teores expressivos de gases poluentes para a atmosfera. Também não necessita de mão-de-obra especializada para a sua construção. Deste modo, é possível afirmar que se trata de uma técnica económica e sustentável.

Os edifícios existentes com paredes de tabique também comprovam que estes elementos construtivos podem oferecer uma durabilidade de acordo com a exigida segundo os padrões de qualidade atuais. Por sua vez, outra grande vantagem desta técnica tradicional prende-se com o facto de ser versátil, atendendo a que é adequada para construir elementos verticais do tipo parede exterior (Figura 3-a) e parede divisória (Figura 3-b).

A ligação do fasquio às tábuas verticais era realizada recorrendo a pregos zincados, prevenindo deste modo que a ferrugem trespassasse para o exterior [4]. Por outro lado, o material de enchimento e revestimento, para além de conferir boas qualidades térmicas e acústicas, ainda permite salvaguardar a estrutura de madeira do ataque dos agentes biológicos e em relação ao fogo [1].

Esta técnica é considerada por alguns como o primeiro material compósito, por usar a madeira como uma estrutura resistente e a terra como material de enchimento (ou seja,

secundário) [3]. Para aumentar a resistência, adicionalmente usavam no material de enchimento óleos vegetais, óleos de baleia ou até mesmo espigas de milho. Como o tabique é uma técnica que usa materiais facilmente amigos do ambiente, com reduzido consumo de CO₂, poderá considerar-se um bom exemplo de construção sustentável [3].



a) Parede exterior, Viseu [5]



b) Parede divisória, Torredeita, Viseu

Figura 3: Elementos construtivos de tabique

2.1.1 Função dos elementos de tabique

As paredes de tabique foram destacadas como o elemento de tabique com maior utilização, podendo estas serem exteriores ou interiores. As paredes exteriores desempenham uma dupla funcionalidade, isto porque para além de constituírem a envolvente exterior do edifício, ainda se constituem como um elemento resistente. Esses elementos resistentes suportam as ações verticais, como por exemplo, o peso dos elementos que lhe estão sobrejacentes e as ações horizontais, essencialmente a ação do vento e sismos [5].

Em estudo efetuado aos edifícios do centro histórico de Viseu, atestou-se que habitualmente o sistema estrutural principal dos edifícios assenta, total ou parcialmente, em paredes resistentes de alvenaria de pedra, sendo que a aplicação de tabique como paredes exteriores só acontece nos pisos superiores. No interior dos edifícios comprovou-se ser frequente a utilização de paredes de tabique, com função de compartimentação e, em casos mais pontuais, com função estrutural [5].

As paredes de tabique não representam de forma assumida uma função estrutural. No entanto, mesmo que aquando da conceção do edifício não lhe sejam atribuídas funções resistentes na receção de cargas verticais, estas desempenham um papel importante no travamento global da estrutura, face à disposição e interligação existente entre si e os restantes elementos estruturais do edifício (paredes, pavimentos e cobertura), contribuindo de forma

importante para a capacidade resistente global da estrutura, durante a ocorrência de uma ação dinâmica, do tipo sismo [5].

Contrariamente com o que acontece com a taipa e com o adobe, a bibliografia e os estudos científicos existentes referentes à construção em tabique são ainda bastante escassos, ou até mesmo inexistentes, no caso de normas e regulamentos. Como tal, para se proceder a uma correta resposta às solicitações atuais em termos de soluções de reabilitação e de reforço, é necessário efetuar-se ainda muito trabalho de investigação, quer na caracterização dos materiais, quer no estudo do seu comportamento estrutural [5].

2.1.1.1 Paredes de tabique exteriores

Como citado anteriormente, as paredes exteriores desempenham uma dupla funcionalidade, isto porque para além de constituírem a envolvente exterior do edifício, ainda constituem um elemento resistente.

Segundo Freitas (2012) [6] as paredes exteriores da fachada da rua da edificação ou de tardois executadas com recurso ao tabique eram realizadas como prolongamento das paredes de fachada em alvenaria de pedra ou em pisos recuados ou avançados (Figura 4).



Figura 4: Exemplos de paredes exteriores em tabique [7]

2.1.1.2 Paredes de tabique interiores

Quando as paredes interiores não recebem diretamente as cargas verticais, estas revelam um papel importante no travamento geral da estrutura ao efetuarem a interligação entre pavimentos e coberturas, o que se traduz decisivo na capacidade resistente do edifício como um todo, na possibilidade de ocorrência de um sismo, dissipando a sua energia.

Em estudos realizados, verificou-se que as paredes interiores de tabique, para além de desempenharem um papel em termos de compartimentação do edifício detinham também uma enorme importância em termos da sua estabilidade estrutural [8].

Ana Cerqueira [9] refere:

No período de vida inicial de uma estrutura, as paredes divisórias encontram-se estruturalmente desligadas dos pavimentos, no entanto, com a ação do tempo, a inserção de cargas, a fluência dos materiais e a sua degradação, os pavimentos sofrem uma deformação vertical tal que este entra em contato com as paredes, passando a transferir-lhes carga. Neste instante a deformação do pavimento é condicionada pelas restrições associadas à criação do novo apoio conferido pela parede. Quando tal sucede, a parede deve ser considerada como parede resistente de modo que, em obras de reabilitação, esta não seja removida, causando consequências a nível estrutural (citado em Appleton 2003).

Tradicionalmente, as paredes de tabique são construídas nos andares superiores porque não é desejável o contacto direto do tabique com o solo, pois pode contribuir para a sua prematura deterioração [10]. Por sua vez, as paredes interiores de tabique podem contribuir significativamente para a estabilidade do edifício, funcionando como elementos de contraventamento e podendo constituir uma relevante reserva de resistência [7, 10]. Nas Figuras 5 e 6, ilustram-se as paredes de tabique como elemento de contraventamento e a sua ligação com o pavimento, respetivamente.

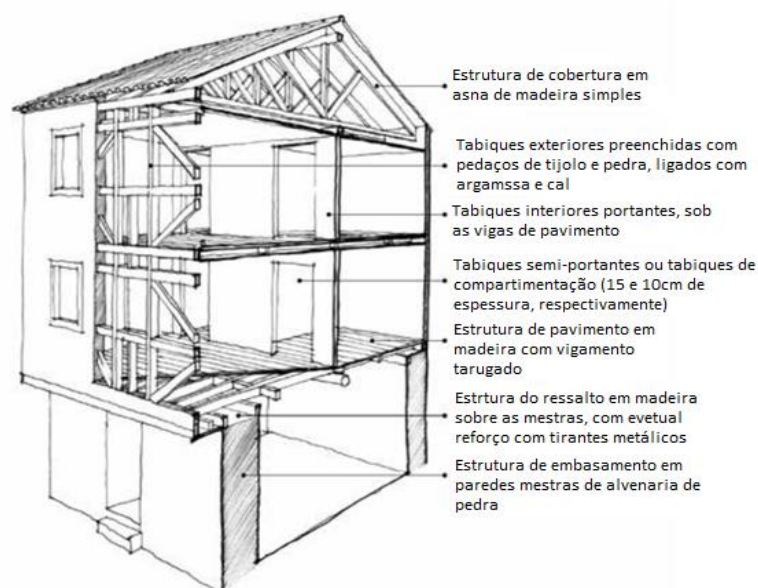


Figura 5: Arquétipo estrutural da casa de ressalto medieval [11]

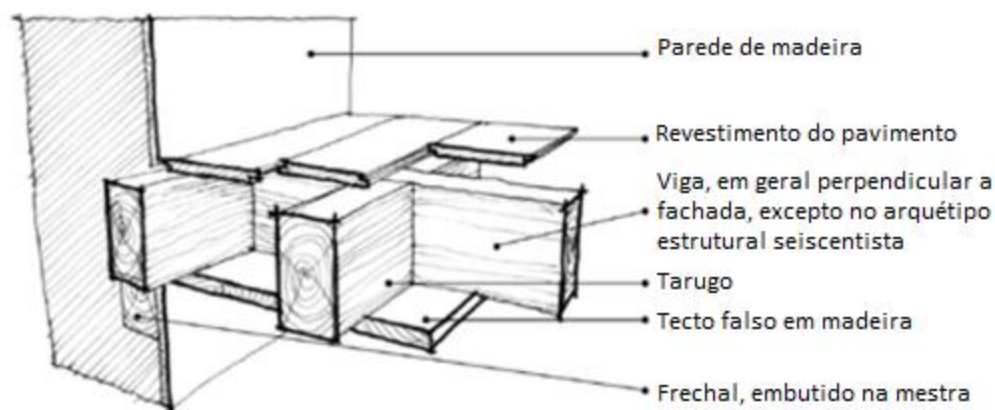


Figura 6: Nomenclatura de uma estrutura horizontal dos edifícios antigos [11]

2.1.2 Ligadores metálicos

Por definição, um ligador metálico é uma haste de metal, com uma das pontas afiada e a outra achatada, designada por cabeça. É utilizado para unir objetos, sendo preferencialmente aplicado na ligação de elementos em madeira [12].

Os ligadores metálicos são essenciais, uma vez que são responsáveis pela conexão entre os diversos elementos das paredes de tabique, e entre estas e os outros elementos resistentes dos edifícios (paredes de alvenaria de pedra, pavimentos e estrutura da cobertura, em madeira maciça). As ligações entre os diversos elementos de madeira que integram as paredes de tabique, bem como entre as paredes de tabique e os restantes elementos estruturais do edifício, assumem um papel fundamental no comportamento estrutural global da construção.

A boa compreensão do sistema construtivo existente é fundamental para a construção de modelos de análise fiáveis a utilizar em eventuais verificações do comportamento estrutural. É por isso importante olhar com atenção para os elementos que efetivam essas ligações. Assim, na ligação entre as tábuas verticais e as ripas de fasquio, entre as tábuas e os frechais (superior e inferior, ao nível dos pisos), entre os elementos da parede de tabique e os elementos secundários (como os rodapés, as ombreiras, etc.) e entre as paredes de tabique distintas eram utilizados ligadores metálicos sob a forma de pregos e cavilhas. Na ligação entre as paredes de tabique e as paredes de alvenaria de pedra (em granito, no caso de Viseu) utilizavam-se ligadores sob a forma de chapas metálicas, que eram chumbadas na alvenaria e pregadas nas paredes de tabique [13].

A análise dos pregos e cavilhas utilizados nas paredes de tabique mostra ter existido uma evolução no tipo de ligadores metálicos utilizados, tanto na forma como no seu fabrico. Nos edifícios de construção mais antiga, os pregos tinham secção retangular variável e eram

fabricados por forjadores locais (Figura 7-a). Os de construção mais recente tinham secção retangular ou circular constante e eram produzidos em fábrica (Figura 7-b) [13].

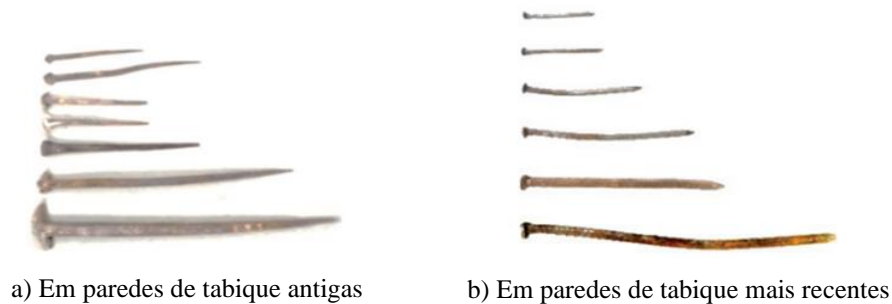


Figura 7: Evolução dos pregos/cavilhas utilizados [8]

Em estudo realizado em edifícios localizados no Centro Histórico de Viseu, observou-se que os ligadores metálicos utilizados possuem características distintas, ao nível da sua forma geométrica e de construção. Por exemplo, uns possuem uma secção constante e outros uma secção variável. No entanto, a maioria apresenta uma secção variável, atribuída ao facto de serem forjados e, por consequência, mais antigos [12].

Salienta-se a sua diversidade de tamanhos e formatos. As inspeções efetuadas revelaram ainda a variedade da sua aplicação na ligação entre os diversos elementos estruturais. Estes ligadores metálicos desempenhavam diversas funções, tais como, ligação entre ripas e tábuas, fixação do fasquiado, ligação entre tábuas e ombreiras ou rodapés, ligação entre tábuas de madeiras e vigas ou frechais, ligação entre tábuas em paredes de tabique perpendiculares interiores, contribuição para o aumento da aderência entre a estrutura de madeira e o revestimento, fixação da telha cerâmica à estrutura de madeira, entre outras [12].

Apesar de existirem algumas chapas metálicas, os pregos são os ligadores metálicos mais comuns. Um dos principais problemas desses ligadores é a sua corrosão, que no limite faz com que a sua secção resistente praticamente desapareça [12].

Dentro das diversas ligações salientam-se a ligação entre paredes de tabique ortogonais entre si (ao nível das tábuas verticais, que são o seu elemento resistente mais importante), o reforço da ligação das paredes de tabique com a estrutura do pavimento e da cobertura (normalmente em madeira maciça) e com as paredes de alvenaria de pedra de granito (a pedra mais comum em Viseu), que normalmente constituem-se como paredes de fachada [12].

2.1.3 Caracterização geométrica

Segundo Olívia Amorim [14] As paredes de tabique são constituídas por uma estrutura regular em madeira, pregada, coberta nas duas faces por uma argamassa de enchimento e uma última camada de regularização e acabamento, usualmente constituída por uma argamassa de cal. A parede de tabique simples, conforme é normalmente designada, constitui a tipologia mais comum. Esta parede é formada por uma fileira de tábuas verticais de secção retangular ou costaneiras, designadas habitualmente de tabuado, ligadas entre si por ripas de fasquio horizontais de ambos os lados. A este conjunto de ripas dá-se o nome de ripado ou fasquiado. A argamassa de enchimento e de revestimento “agarra-se” a essa armação plana de madeira [15]. A Figura 8 esquematiza esta tipologia de parede, com a identificação dos seus componentes.

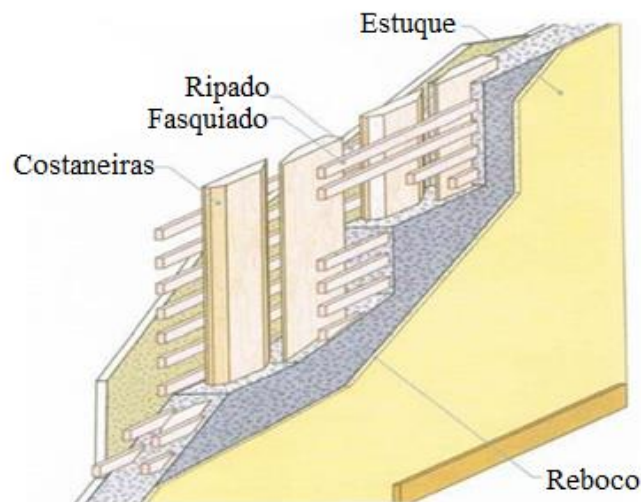


Figura 8: Exemplo da estrutura de madeira do tabique [7]

As paredes de tabique seriam normalmente executadas com a habitação assoalhada ou sobradada. As tábuas verticais costaneiras são pregadas num barrote de madeira corrido, disposto em forma de frechal. Esse frechal apoia diretamente no soalho ou no vigamento, como se mostra na Figura 9, ou num conjunto de prumos que se apoiam no soalho [14].

As paredes de tabique interiores não têm dimensões padronizadas; verifica-se uma grande variabilidade dos valores do comprimento, largura e espessura das paredes de tabique, ou das tábuas que a constituem, de edifício para edifício. Na verdade, esta é uma técnica artesanal, de base empírica, que não previa a utilização de qualquer material ou medida padronizada [16].

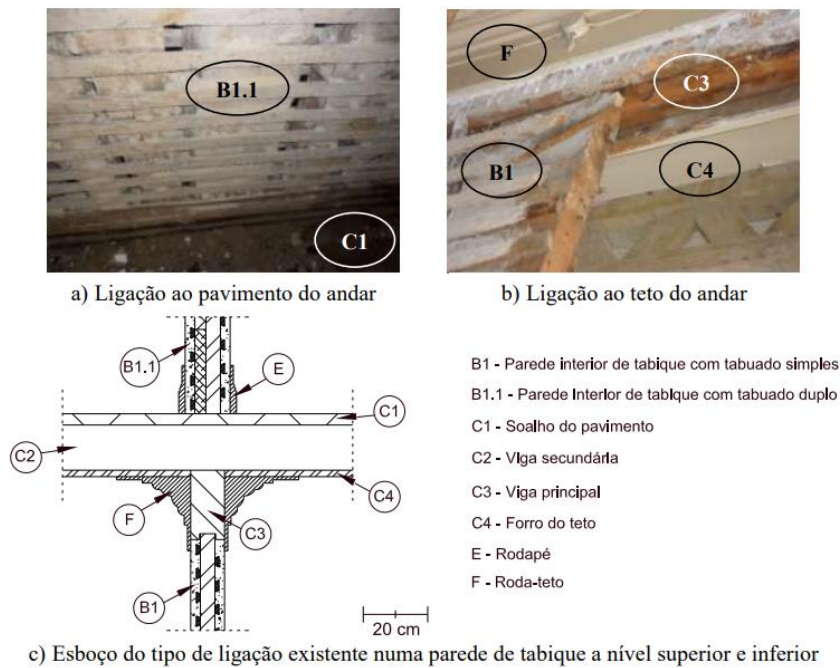


Figura 9: Ligação entre uma parede interior de tabique a nível superior e inferior [5]

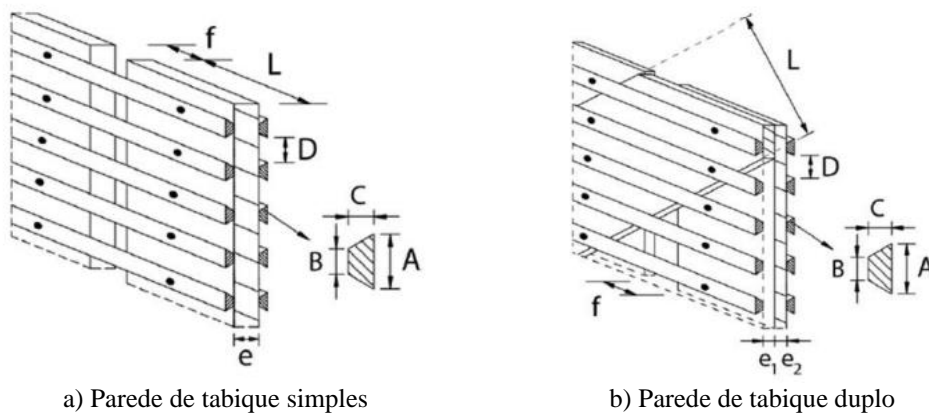


Figura 10: Esquema do posicionamento das tábuas e das ripas de fasquio [16]

Legenda da Figura 10:

L – Comprimento da tábua;

e – Espessura da tábua da parede de tabique simples;

e_1 – Espessura da tábua diagonal da parede de tabique duplo;

e_2 – Espessura da tábua vertical da parede de tabique simples;

f – Espaçamento entre as extremidades de duas tábuas verticais adjacentes;

A – Base maior da secção trapezoidal das ripas de fasquio;

B – Base menor da secção trapezoidal das ripas de fasquio;

C – Altura da secção trapezoidal das ripas de fasquio;

D – Distância entre alinhamentos de duas ripas de fasquio consecutivas.

As tábuas verticais podem apresentar dois tipos de secção transversal: tábuas de secção retangular (Figura 11-a) ou tábuas costaneiras (Figura 11-b).



Figura 11: Secções transversais das tábuas [5]

Relativamente às ripas de fasquio (ou fasquios) podem ser divididos segundo a sua secção transversal: trapezoidal (Figura 12-a), de chanfro simples (Figura 12-b) ou retangulares (Figura 12-c). O papel do fasquio era sobretudo de contribuir para a aderência das argamassas à parede. A criação dos entalhes servia igualmente para aumentar essa aderência.



Figura 12: Fasquios - tipos de secção transversal [5]

A investigação realizada no Centro Histórico de Viseu e que se considera representativa da arquitetura da região, mostrou que o sistema construtivo das paredes de tabique sofreu evoluções ao longo do tempo que abrangeram os três materiais anteriormente referidos. Na Figura 13, evidenciam-se as principais diferenças evolutivas detetadas, enquadradas em dois sistemas construtivos designados como “mais antigo” e “mais recente” [13].

Sistema Construtivo mais antigo		Sistema construtivo mais recente	
Elementos de madeira			
<ul style="list-style-type: none"> * As tábuas verticais têm menor largura e disposição idêntica aos montantes da paredes de frontal. Apresentam um espaçamento menor. * As ripas apresentam uma largura maior e um maior espaçamento. Têm secção retangular 		<ul style="list-style-type: none"> * As tábuas verticais têm uma largura bastante superior à sua espessura. Apresentam um espaçamento menor. * As ripas tem uma largura menor e um espaçamento menor. Têm secção retangular ou trapezoidal (mais usual) 	
Nota: as PT mais recentes apresentam uma escolha mais cuidada dos elementos utilizados (secções mais homogêneas, sobretudo nas PT de melhor construção).			
Argamassas			
<ul style="list-style-type: none"> * Argamassas terrosas com partículas (pedras, restos de * Utilização de elementos de origem vegetal, como a palha para melhoria da coesão. 		<ul style="list-style-type: none"> * Argamassas terrosas mais homogêneas. * Utilização de cal como elemento de melhoria de coesão 	
Ligadores metálicos			
<ul style="list-style-type: none"> * Utilização de ligadores em aço forjado, fabricado em pequenas oficinas locais. * Ligadores em secção variável. 		<ul style="list-style-type: none"> * Utilização de ligadores em aço com baixa percentagem de carbono, fabricados industrialmente. * Ligadores com secção constante. 	
Nota: Entende-se por ligador metálico todo e qualquer elemento metálico (prego, cavilha, chapa, etc.) utilizado na ligação entre os elementos de madeira constituintes de uma PT, entre PT distintas e entre PT e as paredes de alvenaria ou elementos das estruturas do pavimento e/ou da cobertura. Neste contexto, entende-se por cavilha um prego de maior dimensão.			

Figura 13: Diferenças entre sistemas construtivos - as designações maior e menor, referem-se à comparação dos dois sistemas apontados – (adaptado de [13])

Na Figura 14, apresentam-se as quatro tipologias mais comuns observadas em edifícios investigados no Centro Histórico de Viseu, acompanhadas por uma breve descrição e uma fotografia de referência.

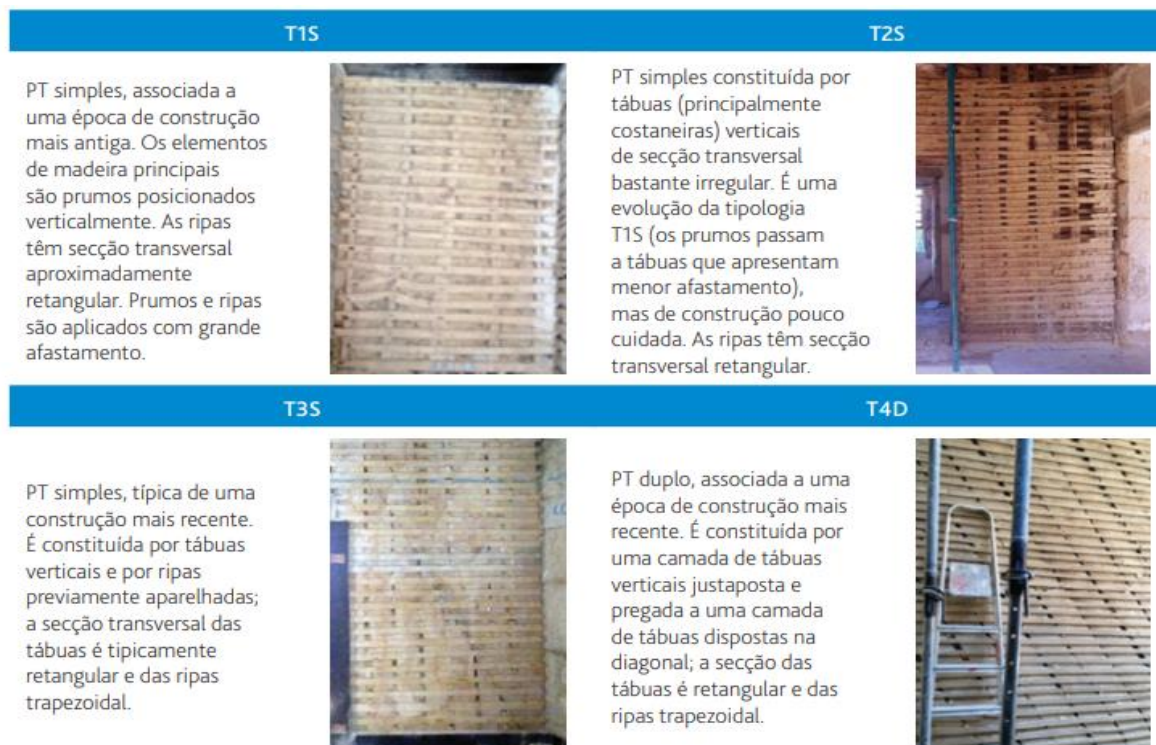


Figura 14: Classificação segundo a sua tipologia construtiva [13]

Outra característica singular do sistema construtivo das paredes de tabique simples da região de Viseu é a inclusão de tábuas diagonais no plano da camada de tábuas verticais. Na Figura 15 apresenta-se a pormenorização de algumas possíveis configurações de diagonais encontradas em alguns edifícios em Viseu [8].

2.2 Pavimento em Madeira

2.2.1 Comportamento estrutural

A construção dos edifícios antigos, tipicamente constituídos por elementos portantes verticais de pedra e paredes de tabique e por elementos horizontais (pavimentos e cobertura) em estrutura de madeira, envolvem procedimentos que exigem o conhecimento do comportamento mecânico dos materiais desses elementos estruturais e do seu estado de conservação. Os pavimentos assumem um papel particularmente importante, de forma a promover o funcionamento conjunto de todos os elementos estruturais, assegurando, deste

modo, uma transmissão e distribuição de esforços eficaz, quer verticais resultantes do uso corrente dos pavimentos, quer horizontais resultantes de impulsos nas paredes [17].

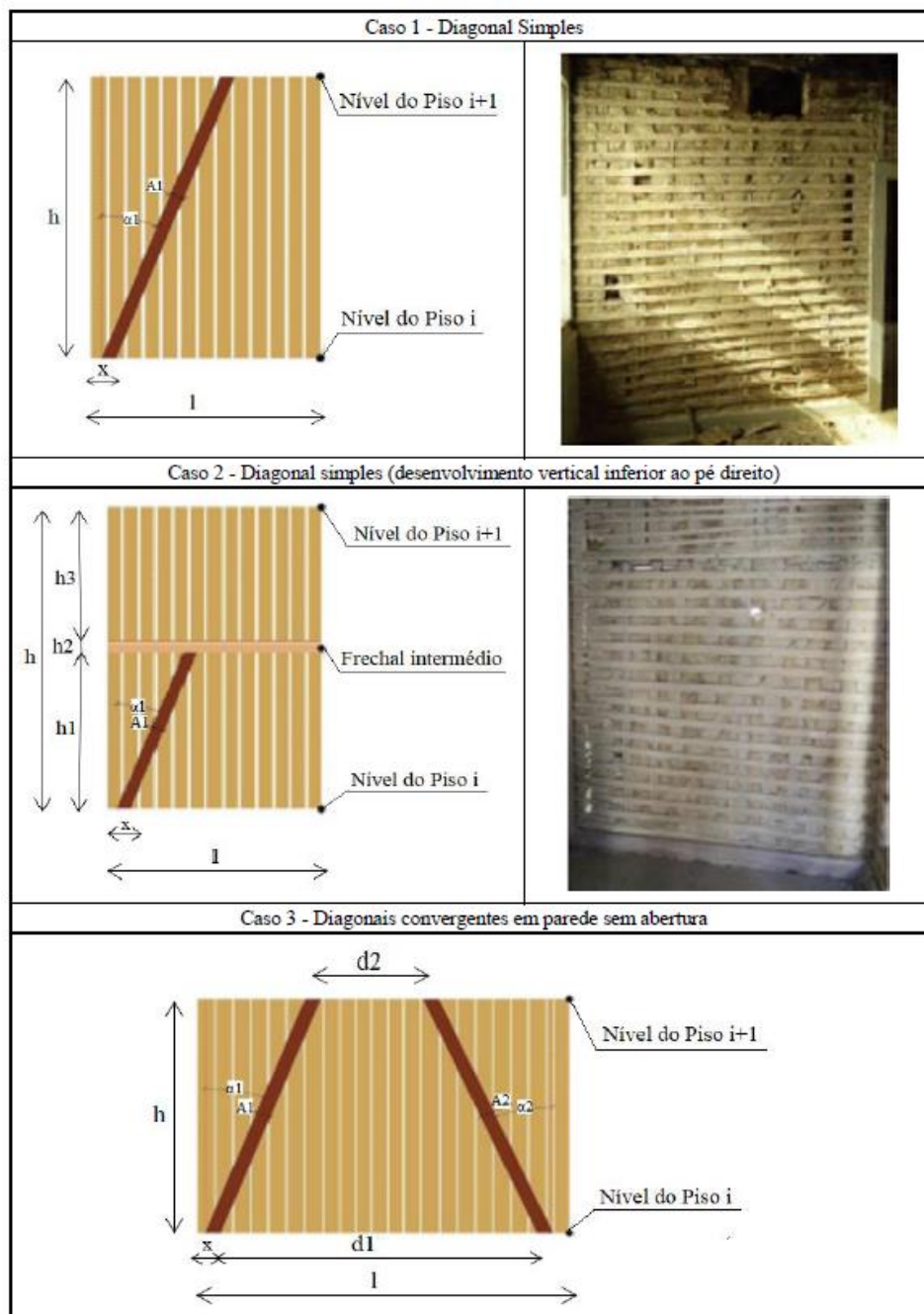


Figura 15: Pormenorização da configuração de paredes de tabique [8]

Como os pavimentos são estruturas flexíveis, a sua capacidade é normalmente condicionada pela deformação e/ou vibração induzida pelo uso, sendo esta última característica uma das principais razões que alguns dos intervenientes nos processos de reabilitação apontam para a sua substituição, ou reforço. Contudo, muitas destas estruturas, aparentemente deficitárias, têm demonstrado um comportamento satisfatório ao longo da sua vida útil [17].

É, portanto, importante caracterizar devidamente as propriedades mecânicas e o comportamento estrutural dos pavimentos. Através de ensaios sónicos, ou de penetração, utilizando por exemplo instrumentos como o Pilodyn e o Resistograph®, é possível aferir algumas características das madeiras, mas os resultados destes ensaios não permitem correlações suficientemente fiáveis com as propriedades mecânicas da madeira [17]. Em alternativa, podem realizar-se ensaios de carga que permitem estimar o comportamento global dos pavimentos [18]. É um procedimento não destrutivo, mas envolve meios pesados e custos mais elevados, sendo habitualmente incomportáveis numa intervenção corrente [17].

Ilharco *et al.* (2018) afirma que os pavimentos de madeira de edifícios antigos possuem habitualmente uma estrutura principal constituída por vigas de madeira de castanho, carvalho ou pinho, apoiada em paredes de alvenaria de pedra e que suporta o soalho e a estrutura do teto subjacente, ver Figuras 16 e 17. Estas vigas tinham uma secção transversal circular nos edifícios anteriores ao século XX e somente nas construções posteriores apareceram as vigas com secção transversal retangular [17].



Figura 16: Pavimento de madeira de um edifício antigo de alvenaria. Vigas de secção transversal circular [17]



Figura 17: Pavimento de madeira de um edifício antigo de alvenaria. Vigas de secção transversal retangular [17]

2.3 Inspeção e Diagnóstico

As ações de inspeção e diagnóstico assumem um papel fundamental em qualquer projeto de reabilitação. Só uma boa identificação das características da estrutura existente e do seu estado de conservação permitem a realização, à posteriori, de um projeto devidamente sustentado e adaptado às condições do edifício, dirigido para a solução dos reais problemas da estrutura, otimizando soluções e o custo final das intervenções [19].

A avaliação deverá contemplar as seguintes ações:

- Identificação e caracterização dos sistemas construtivos e estruturais, incluindo a caracterização dos elementos de alvenaria de pedra e de madeira;
- Inspeção visual dos elementos estruturais de alvenaria de pedra (paredes), com abertura de janelas de sondagem para identificação da textura e tipo de aparelho dos alçados (geometria e qualidade das pedras e da argamassa das juntas) e dos elementos estruturais de madeira (pavimentos, escadas, paredes e cobertura);
- Ensaio *in situ* que se considerem relevantes para a caracterização do estado dos elementos estruturais de alvenaria de pedra e de madeira;
- Registo de danos estruturais e diagnóstico do estado de conservação dos elementos estruturais, incluindo a descrição das causas que poderão estar na sua origem;
- Avaliação da segurança estrutural dos pavimentos, escadas, cobertura e paredes, tendo em conta, a futura utilização dos edifícios;
- Elaboração do Relatório de Inspeção e Diagnóstico, com o parecer do Técnico responsável, devidamente acompanhado de documentação fotográfica, bem como, de todos os registos efetuados, nomeadamente, dos resultados dos ensaios a executar.

A intervenção numa edificação tem como objetivo melhorar ou corrigir o comportamento estrutural. Determinar as causas das anomalias em edifícios é algo complexo, pois uma anomalia pode ter uma ou mais causas devido à grande variedade de elementos e materiais que constituem um edifício, as variadas funções que desempenham as várias partes de um edifício e os elementos que o integram. Portanto, uma mesma causa pode provocar diferentes patologias e de outra forma, efeitos diferentes.

2.3.1 Principais patologias encontradas em edifícios antigos

Quando se abordam as patologias em edifícios antigos, pretende-se determinar os defeitos existentes tanto de origem estrutural quanto não estrutural. A identificação da patologia é um dos aspetos mais importantes das inspeções para que um diagnóstico seja elaborado de forma mais fidedigna. Assim, através da sua identificação nos diferentes locais, é mais simples avaliar as principais causas e, então, determinar quais são as melhores soluções para tratar a anomalia.

Deve-se ter uma boa capacidade de observação visual, mas não só, deverão utilizar-se os cinco sentidos e ainda, técnicas e instrumentos que deverão ser escolhidos de acordo com o elemento em análise. Deverão ter o conhecimento e experiência necessários para uma correta utilização e escolha das técnicas construtivas; efetuar uma clara avaliação dos materiais, do seu comportamento e da forma de execução; e, ainda, a capacidade de interpretação e de correlação de todos os dados [20].

É um compromisso da engenharia dar a devida atenção à conservação do edificado perante toda a sociedade e é através de pesquisas que os métodos de manutenção e reabilitação/renovação se tornam cada vez mais acessíveis, tecnológicos e de fácil alcance.

A deterioração interna, de forma lenta ou rápida, dos revestimentos, acabamentos e componentes interiores de um edifício, pode ser causada principalmente pela presença da água. Depois da entrada em funcionamento de um edifício, é através da manutenção regular, que a degradação pode ser evitada.

A Figura 18 mostra as mais relevantes anomalias de carácter não estrutural do interior do edifício.

Um dos agentes de deterioração dos sistemas construtivos de madeira utilizados em edifícios é a água através de diversos mecanismos e sob diversas formas. As estruturas de madeira devem manter a sua “integridade”, ou seja, perder o mínimo possível de material lenhoso na sua fase de utilização. O uso a que as estruturas de madeira estão sujeitas não deve fazer aumentar os “defeitos” originais das peças.

Outro agente de deterioração comum é a variação de temperatura que provoca dilatação e retração dos materiais presentes na edificação. Alguns materiais não podem ficar rigidamente confinados, pois ao longo do tempo acumulam tensões internas e podem acabar se deformando

ou distribuindo as tensões para outros elementos, podendo ocorrer a rotura do material, perdendo assim a sua função.

Componente Elemento	Designação da anomalia	Causas
<i>Entradas e zonas comuns interiores</i>		
Parede enterrada	Infiltração	Falta de impermeabilização ou drenagem do lado do terreno. Fendas. Juntas deficientes
Pavimento de madeira	Podridão	Podridão facilitada pela presença de humidade ou de ciclos molhagem/secagem. Disposições construtivas inadequadas
Revestimento interior da parede	Desagregação	Humidade proveniente do terreno em contacto com a parede
		Má ventilação Pontes térmicas
Pavimento - junta	Deterioração	Má concepção ou execução da junta
<i>Parede interior</i>		
Parede de andar intermédio	Mancha de humidade	Infiltrações pela fachada
		Fugas em canalizações No caso de manchas se localizarem junto de vãos, podem ter origem em infiltrações pelas caixilharias
Parede de andar térreo	Mancha e alteração	Humidade ascendente proveniente do terreno Deficiente isolamento das paredes
Parede de último andar	Desligamento tecto/parede	Efeito de dilatações
<i>Pavimentos interiores</i>		
Revestimento de madeira	Descolagem e levantamento	Inchamento da madeira devido à presença de humidade no substrato devido a fugas em canalizações ou humidade ascendente
		Folga pequena entre o revestimento e as paredes Juntas estreitas Aplicação de madeira excessivamente secas
	Deterioração, desgaste	Má manutenção. Infiltrações ou fugas fortuitas de grande intensidade que não sejam imediatamente debeladas
Tectos	Eflorescência e criptoflorescência	Infiltrações pela cobertura
		Fugas de canalizações, com arrastamento e deposição de sais

Figura 18: Anomalias correntes do interior dos edifícios e respetivas causas (adaptado de [21])

2.3.2 Patologia dos elementos de madeira

A madeira foi um material muito utilizado na construção civil até o início do século XX em todo o mundo, estando presente em diversos sistemas construtivos: de fundações, de estruturas, de pavimentos, de paredes, de coberturas, entre outros. A madeira foi, a par da pedra, o material mais utilizado na construção de edifícios antigos, por se tratar de um material de fácil transporte, de boa trabalhabilidade, que existe em abundância e que funciona bem à tração no sentido das fibras. O material possui uma grande versatilidade, que lhe permite resistir tanto a esforços de tração como a esforços de compressão [22].

A madeira é um material higroscópico, cujas propriedades físicas e mecânicas dependem do teor de água. É um material natural que possui uma heterogeneidade significativa

e por ter uma estrutura celular, apresenta uma grande anisotropia. Além de ser utilizada nas paredes de tabique, a madeira também está presente na estrutura do pavimento nos vigamentos e no soalho [23].

Um dos principais problemas da madeira está relacionado com o fenómeno de inchamento e retração devido à presença de humidade relativa do ar [23].

As patologias podem ser de dois tipos:

- Origem biológica: é um dos ataques mais comuns e mais graves nas estruturas de madeira. Existem numerosos agentes de degradação que alteram as suas propriedades, como por exemplo, fungos xilófagos, térmitas e carunchos e outros insetos; e
- Origem não biológica: ação dos agentes atmosféricos como a radiação solar, a chuva e a variação de humidade; a ação dos agentes químicos e do fogo influenciam diretamente nas propriedades mecânicas da madeira, além de envelhecer a estrutura interna e diminuir a resistência da peça e promover o ataque de elementos biológicos.

O risco de ataque biológico depende da localização da peça de madeira no edifício. Além disso, a conservação do material também está ligada à sua durabilidade natural e à sua impermeabilidade. Muitas patologias de origem não biológica acontecem por deficiente conceção e utilização da estrutura, que é a principal razão para o envelhecimento precoce de muitas estruturas de madeira e para a diminuição da sua utilização nos tempos atuais. Na Figura 19, temos os principais agentes de deterioração da madeira.

Em pavimentos de madeira verificam-se, principalmente, dois tipos de danos estruturais de grande importância: a rotura por corte nas ligações aos apoios devido à redução da secção por ataques de carunchos, fungos e térmitas, resultante, usualmente, da existência de elevados teores de humidade; e a rotura por flexão a meio vão devido a defeitos na madeira, à redução da secção útil e/ou ao excesso de carga devido à mudança de uso do edifício [24]. Estes tipos de danos influenciam a deformação do pavimento e a vibração própria da estrutura.

2.4 Ensaios de Caracterização

2.4.1 Ensaio de vibração ambiental

Um dos métodos experimentais mais utilizados na caracterização de diversas estruturas de engenharia civil (pontes, barragens, edifícios, etc.) é o ensaio de vibração ambiental. Estes ensaios são mais vantajosos em relação a outros tipos de ensaios por não ser necessária a criação

de excitações (excitadores ou pêndulos) para analisar a resposta da estrutura, bastando apenas analisar a resposta da estrutura às ações ambientais. Como este tipo de ensaio se realiza com recurso a equipamentos de medição e de tratamento de dados torna-se vantajoso pela economia e rapidez de execução face a outros métodos [25].

Patologias	Exemplo
Alterações nas características físicas e químicas dos elementos de madeira ou derivados utilizados nas soluções construtivas	Degradação superficial por mudança de cor da superfície exposta ao sol que fica cinzenta
	Mudança de cor de um soalho por acção da luz ficando a parte do bome e o cerne castanho-escuro, o que provoca diferenças de tonalidade
	Empenos das peças por secagem não controlada
	Dilatações ou retracções elevadas da madeira causadas por ajustamento às condições ambientais em serviços e que provocam aberturas de grande juntas entre as peças ou empolamento e outras deformações irreversíveis
Perda de aptidão para o uso estrutural, relacionada com a degradação dos materiais ou soluções originais ou por modificação das condições iniciais, associadas a novas exigências de desempenho, mudanças na utilização ou no tipo e características dos utentes	Secção insuficiente
	Deformações ou vibrações excessivas
	Falhas nas ligações
	Problemas nos apoios
	Ausência de contraventamento, sobretudo em estruturas muito leves e sujeitas a acções importantes do vento
Degradação do funcionamento do elemento construtivo como um todo (porta, janela, portada, soalho) associado a envelhecimento, deficiente limpeza ou manutenção mas também muitas vezes deficiente utilização	Perda de homogeneidade ou integridade das secções causada por exemplo pela abertura de fendas profundas
	Perda de estanqueidade à água dos elementos de junta em portas ou janelas
	Desafinação frequente das ferragens das portas exteriores
	Deslocamento da camada de estuque em paredes divisórias ou técnicos falsos com base em madeira
	Empeno ou outras formas de deformação inestética das peças causadas por deficiente concepção global das peças

Figura 19: Diferentes patologias nas construções em madeira (adaptado de [26])

O ensaio de vibração ambiental é um procedimento que permite a identificação das frequências naturais, dos modos de vibração e possibilita a identificação do comportamento dinâmico para o auxílio na abordagem aos projetos de reabilitação estrutural de edifícios antigos.

Para os ensaios de medição da vibração ambiental são normalmente utilizados sismógrafos (Figura 20), que possuem acelerómetros em três direcções, permitindo obter os registos das acelerações nessas direcções, que são depois objeto de análises numéricas para a determinação das frequências próprias e dos modos de vibração dos elementos ou da estrutura.



Figura 20: Sismógrafo (modelo GeoSIG GSR-18)

Como procedimento essencial é recomendável a realização de um planeamento prévio e cuidadoso dos ensaios, para definir o equipamento a utilizar e a duração dos ensaios, entre outros aspetos. Como os pavimentos de madeira apresentam um peso reduzido, é importante, durante a realização dos ensaios não perturbar os pavimentos com a introdução de massas adicionais. Este ensaio é eficaz na determinação dos tipos de apoios a que os vigamentos possam estar sujeitos [17].

Para identificar os modos de vibração com interesse, devem-se posicionar os aparelhos em pontos de maior deslocamento modal e evitar os pontos de deslocamento modal nulo. Também é necessário considerar que a aquisição de dados num ensaio dinâmico, em particular quando se utiliza apenas a vibração ambiente, deve ser efetuada num intervalo de tempo igual ao valor dado pela Equação 1 [17]:

$$1000 \times T_{max} \quad (1)$$

em que:

T_{max} - Maior período.

Nos pavimentos de madeira deve-se considerar, em geral, um período de aquisição de 1 a 3 minutos para garantir que as principais frequências de vibração sejam devidamente caracterizadas [17].

Para obter as frequências próprias de vibração do pavimento é necessário calcular as densidades espectrais de potência a partir dos registos de acelerações de cada estação. Essas leituras são normalmente efetuadas em diferentes locais dos pavimentos (estações). Com a

obtenção das frequências próprias é possível estimar a rigidez dos pavimentos e por conseguinte o seu estado de conservação [27].

2.4.2 Ensaio com Resistograph®

O património construído requer trabalhos regulares de manutenção para ser preservado de forma adequada. A avaliação da integridade estrutural dos elementos construtivos em obra é uma tarefa nem sempre fácil devido à inacessibilidade e à falta de segurança por vezes verificada nas construções. O uso do Resistograph® enquadra-se nas condições referidas, podendo apresentar um potencial de aplicação interessante no estudo de elementos construtivos de madeira, antigos e em serviço [28].

O Resistograph® (Figura 21) é um instrumento muito prático, necessita de um operador e é composto por um elemento perfurador e um dispositivo de recolha de dados de pequena dimensão.



a) Elemento perfurador



b) Dispositivo de recolha de dados

Figura 21: Resistograph®

Na opinião de Feio (2006) [29] e de Lourenço *et al.* (2007) [30], o Resistograph® é um equipamento utilizado em processos de inspeção da integridade estrutural da madeira, na deteção de apodrecimento, na análise da qualidade da madeira e no estudo do crescimento anual lenhoso, através da medição da resistência mecânica por intermédio de perfuração.

O ensaio do Resistograph® consiste na introdução de uma agulha que perfura a uma velocidade constante, medindo a resistência à progressiva penetração da agulha. À medida que a agulha vai penetrando ao longo da peça de madeira, o perfil é registado em papel e gravado na memória interna do equipamento para posterior análise através de meios computacionais [31]. O manuseamento do equipamento é simples, porém, é importante evitar movimentos bruscos do Resistograph® aquando da penetração da agulha na peça de madeira, de modo a evitar que esta se parta.

O facto de realizar perfurações quase impercetíveis e sem qualquer influência na resistência mecânica da peça faz com que seja um dos instrumentos mais utilizados na inspeção de estruturas de madeira. O registo efetuado pelo Resistograph® permite detetar as regiões da madeira com variações de densidade e de resistência devido a descontinuidades físicas, que podem ser devidas a fendas ou outras anomalias e até mesmo à degradação devido a agentes xilófagos [31].

Os resultados obtidos são de interpretação simples e proporcionam uma informação qualitativa de grande interesse, já que fornecem um registo desenhado da variação da resistência da madeira à perfuração [27]. Os registos são depois impressos no dispositivo de recolha de dados, onde é possível fazer a leitura da densidade da madeira. Quanto mais energia necessária à penetração maior a sua densidade.

No entanto, existem grandes limitações na sua utilização para a obtenção de valores quantitativos, uma vez que os estudos experimentais existentes são apenas para algumas espécies e nem todas as correlações existentes entre os resultados obtidos pelo Resistograph® e as características mecânicas ou físicas da madeira são fiáveis [27].

2.4.3 Ensaio de teor de humidade

Há uma diversidade de formas de manifestação de anomalias devido à presença de humidade, dentre elas a humidade ascensional, manchamentos e bolor são as mais comumente observadas nas alvenarias [32, 33]. A humidade propaga-se sobretudo através da absorção de água por capilaridade pelos revestimentos argamassados, do interior para o exterior [33, 34]. Através da observação visual e de ensaios *in situ* ou em laboratório, é possível quantificar a abrangência da frente de humidade e do teor de água.

Os materiais de construção são, na sua maior parte, estruturas porosas que geram trocas permanentes de humidade, em fase de vapor e em fase líquida, com o ambiente em que estão

inseridos [35]. Este comportamento condiciona as suas propriedades e a sua durabilidade. O teor de humidade nos elementos de madeira e estruturas que lhes dão apoio, é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento dos agentes biológicos, como as bactérias, fungos e insetos xilófagos, condicionando ainda as suas propriedades mecânicas [36].

Dentre os métodos de aferição da humidade nas construções, o humidímetro portátil (Figura 22) é um instrumento bastante simples utilizado para avaliar o teor de água das paredes, através de dois elétrodos em forma de agulhas ou de sondas de profundidade a introduzir nos elementos a ensaiar [36]. Estes aparelhos permitem determinar o teor de humidade com rapidez e eficácia, de modo indireto por medidas da resistividade elétrica do material analisado. Além de ser um método rápido, destaca-se por ser um método não destrutivo e, portanto, pode ser empregue no mesmo ponto outras vezes, permitindo o monitoramento da área. Em geral, os valores obtidos permitem estimar as variações do estado de humedecimento do revestimento de uma parede em condições naturais [37].



a) Tramex CME 4



b) WoodTester Laserliner



c) Protimeter Surveymaster

Figura 22: Modelos de Humidímetros

De um modo geral, a técnica é de utilização bastante rápida e prática. Os seus resultados, embora comparativos e não absolutos, permitem detetar as zonas do reboco com diferentes teores de humidade. O carácter heterogéneo das argamassas, no entanto, faz com que seja necessária a realização de grande número de medições de forma cuidada e sistematizada, bem como a identificação e avaliação de possíveis fontes de erro.

2.4.3.1 Ensaio de teor de humidade em argamassas

A terra e o barro foram os primeiros materiais a serem utilizados na composição de uma argamassa, por já se encontrarem na natureza. Mais tarde, foi adicionada palha e areia com a finalidade de melhorar a sua consistência e resistência.

Particularmente no que diz respeito às argamassas antigas, existem várias referências à sua utilização na construção, na reabilitação e no restauro do património edificado, tendo vindo a ser objeto de estudo em diversos trabalhos de investigação realizados em torno da sua caracterização [38].

Sendo a argamassa um dos principais componentes de proteção dos edifícios antigos, torna-se importante definir as principais exigências e as características que as argamassas de substituição devem apresentar, de modo a garantir a compatibilidade necessária com os suportes dos edifícios antigos. Neste contexto, é essencial que haja uma caracterização adequada das argamassas antigas, nomeadamente das suas características físicas, químicas e mecânicas para que se possa selecionar uma argamassa de reparação idêntica e compatível, descritas nas normas NP – 83 (1965) / NP-143 (1969) / E199 – 1967 [39, 40, 41].

Um dos problemas de deterioração nos edifícios históricos está associado à manutenção e restauro das argamassas. Por exemplo, têm-se verificado anomalias graves relacionadas com a aplicação de argamassas à base de cimento sobre suportes antigos. Quando existe uma aplicação a suportes com revestimentos de argamassas com propriedades muito diferentes, estes tornam-se incompatíveis, podendo resultar na fissuração e destacamento dos novos revestimentos. Para que se inicie uma operação de reabilitação é necessário garantir a compatibilidade de resistência físico-química e mecânica entre as novas argamassas empregues e as antigas, não desprezando o aspeto original [42].

Assim, quando se coloca o problema de reparar ou reabilitar uma determinada obra, torna-se indispensável obter informações sobre a natureza dos materiais que foram empregues, de forma a poder recomendar-se materiais de reparação/reabilitação que sejam compatíveis com os existentes.

No caso das argamassas de cal ainda é necessário prosseguir com o seu estudo. Segundo Veiga (2003) chegam até aos nossos dias argamassas com centenas de anos que apresentam resistências superiores às que se aplicam atualmente, por isso ainda há muita investigação por fazer neste campo. Os revestimentos e acabamentos são a primeira camada de proteção das construções face às ações agressivas de natureza química e mecânica. Para garantir um bom desempenho das argamassas de revestimento há que assegurar que se adequem à base onde são aplicadas, que sejam dotadas de resistência mecânica suficiente, que sejam relativamente deformáveis, que apresentem impermeabilidade suficiente e um bom comportamento aos sais [43].

Tanto as argamassas de enchimento/assentamento, como as argamassas de revestimento, eram constituídas basicamente por terra existente nas proximidades, água e, eventualmente, algumas adições como fibras ou cal. Não existe uma composição para estas argamassas, uma vez que dependem das características do solo, que variam muito de região para região. Uma das principais vantagens dos rebocos realizados com argamassas de terra é a sua elevada higroscopicidade, que lhe permite absorver e libertar vapor de água, equilibrando a humidade relativa dos ambientes interiores [44].

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os métodos e procedimentos adotados nas várias etapas da investigação, para descrever um edifício localizado no Centro Histórico de Viseu, com suas características construtivas, técnicas e materiais utilizados. Através de levantamento pormenorizado, e com a realização de ensaios *in situ*. Será dividido em Caso de Estudo, Procedimento Adotado e Levantamento Arquitetónico e Estrutural.

3.1 Caso de Estudo

O edifício, objeto de estudo, localiza-se na Rua do Gonçalinho, n.º 33, freguesia de Viseu, Concelho de Viseu, na área de uso do solo urbano na categoria operativa de solo urbanizado, na categoria de espaço central, e na área Crítica de Reconversão e Recuperação Urbanística, no Centro Histórico. Os edifícios da cidade romana conhecem-se apenas pelos vestígios na praça D. Duarte e na Rua do Gonçalinho. O edifício que foi objeto de estudo é uma habitação multifamiliar do século XIX, com 4 pisos, e cobertura em madeira, em mau estado de conservação. Representa-se com um retângulo verde na Figura 23, a sua localização.

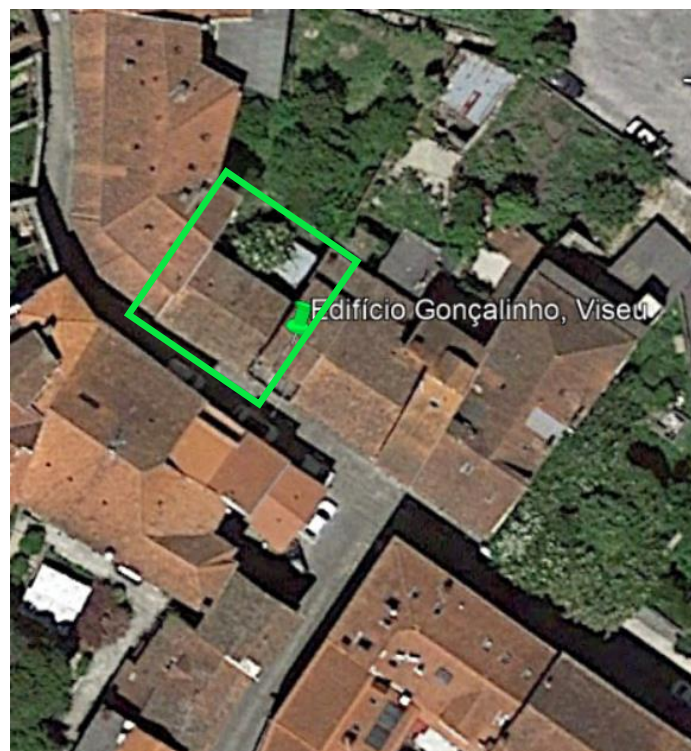


Figura 23: Localização do edifício em estudo [45]

Na Figura 24 é possível observar a fachada principal do edifício em estudo.



Figura 24: Alçado principal do edifício

Quando se deu início à primeira visita de inspeção, o edifício encontrava-se totalmente desocupado, com a zona do alçado posterior muito deteriorada, com parte da estrutura já colapsada, como se observa na Figura 25.



Figura 25: Alçado posterior

3.2 Procedimento Adotado

De modo a ser possível atingir os objetivos propostos, ao longo deste capítulo proceder-se-á ao levantamento arquitetónico e estrutural de um edifício construção em tabique existente no centro histórico de Viseu. A técnica de inspeção e diagnóstico utilizada no presente trabalho baseou-se na inspeção visual da superfície e em ensaios não destrutivos, expondo alguns

pormenores construtivos que foram encontrados e que se consideram relevantes, bem como a sua caracterização geométrica. Apresentar-se-á também a execução dos ensaios com um Resistograph®, para aferir o estado de conservação das madeiras, de vibração ambiental em pavimentos de madeira, com a utilização de um sismógrafo e, por último, a realização de ensaios de teor de humidade nas argamassas e nas madeiras que compõem as paredes de tabique e das vigas de madeira que compõem os pavimentos, com recurso a um humidímetro portátil.

3.3 Levantamento arquitetónico e estrutural

Serão apresentados os pormenores construtivos considerados preponderantes para caracterizar o sistema estrutural. Esses pormenores serão ilustrados e descritos de acordo com a informação recolhida e complementados por suporte fotográfico, sendo que alguns serão apresentados em peças desenhadas de modo que a sua perceção seja facilitada.

Nas Figuras 26 e 27, apresentam-se a imagem do corte transversal, os materiais construtivos existentes na fachada e a representação do corte transversal C-G. Este corte transversal do edifício tem como objetivo sinalizar os locais onde foram encontrados alguns dos pormenores construtivos que se vão analisar posteriormente. As restantes plantas encontram-se no Apêndice A.

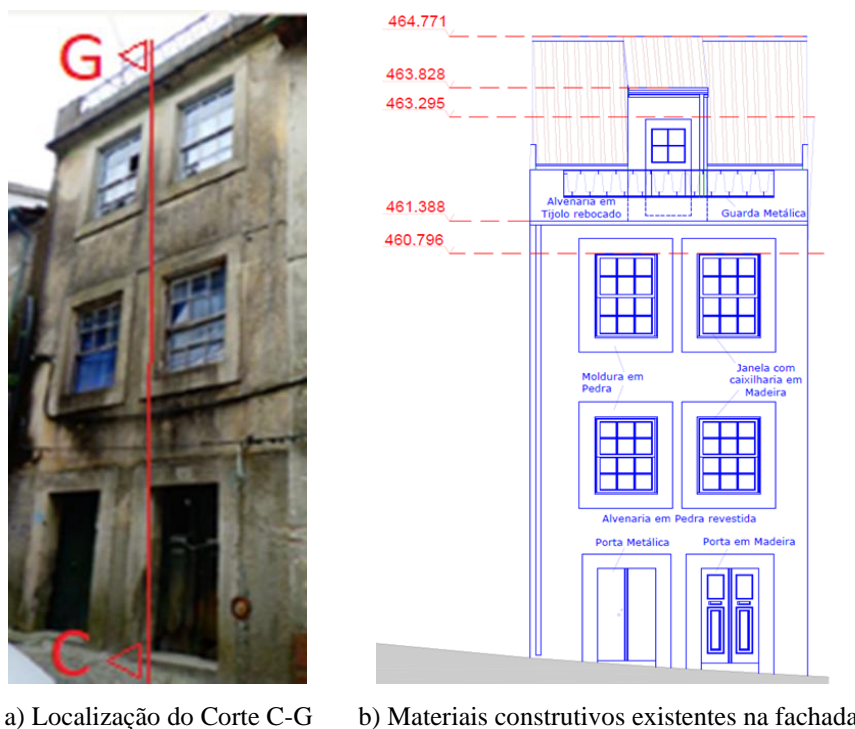


Figura 26: Alçado principal do edifício

No levantamento realizado, observou-se a existência de parede de pedra no alçado principal do piso 0 e 1 (detalhe D da Figura 27), a partir do piso 2 as paredes do alçado principal são em tijolo maciço (detalhe E da Figura 27). Por sua vez, as paredes interiores de tabique apoiavam-se diretamente nos elementos horizontais de madeira (detalhe B da Figura 27). A estrutura do pavimento (detalhe C da Figura 27) era constituída pelas vigas principais que serviam de apoio às vigas secundárias e sobre o qual era assente o soalho de madeira e, ao nível inferior, o forro de madeira. Por último, o sistema estrutural na cobertura (detalhe A da Figura 27) era concretizado através de vigas de madeira, que após se ligarem aos elementos horizontais, também de madeira, apoiavam-se na parede resistente de alvenaria de tijolo maciço do alçado principal e em paredes de tabique.

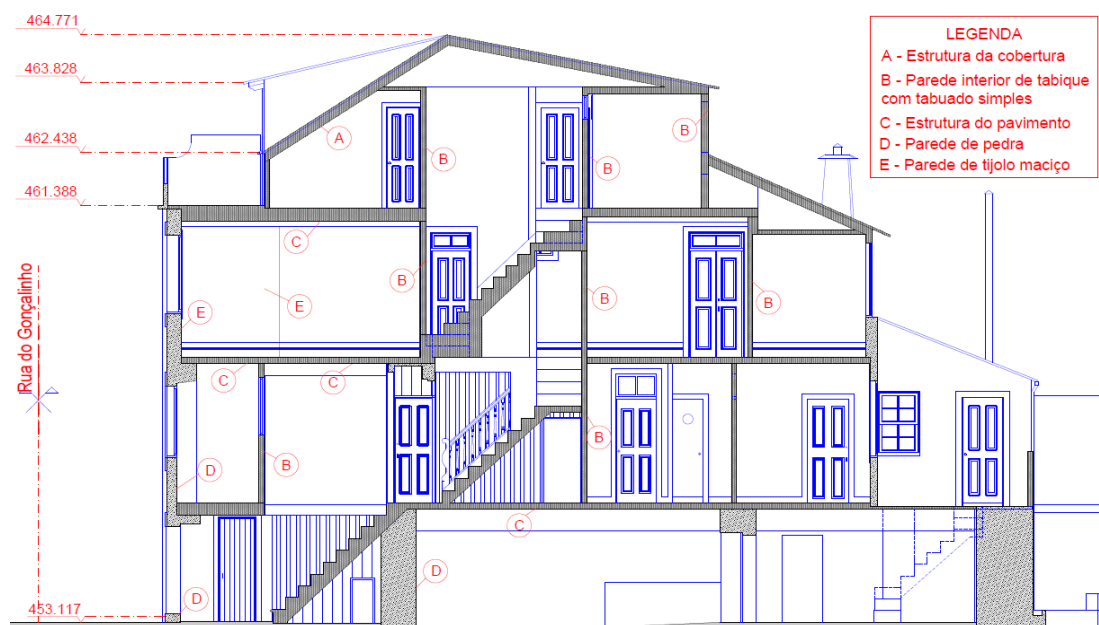


Figura 27: Corte transversal C-G

Para melhor compreensão da localização das paredes inspecionadas utilizou-se a classificação apresentada no Quadro 1 para os níveis do edifício, objeto de estudo.

Quadro 1: Classificação dos níveis do edifício, de acordo com a localização da parede inspecionada

Localização da parede inspecionada	Designação simplificada
Entre o r/chão e 1.º piso	Nível 0
Entre 1.º piso e 2.º piso	Nível 1
Entre 2.º piso e 3.º piso	Nível 2
Entre 3.º piso e 4.º piso	Nível 3
Entre 4.º piso e 5.º piso	Nível 4
Não sabe	n.s.

No Apêndice A apresentam-se as plantas do edifício com a identificação das paredes e respectivas soluções construtivas. Para a elaboração dessas plantas, tornou-se importante a obtenção das plantas de arquitetura junto da entidade promotora do projeto de reabilitação e algumas medições que foram feitas no local. No Quadro 2 estão representadas as áreas de cada piso.

Quadro 2: Área útil de cada piso do edifício

Localização	Área Útil Total (m ²)
Piso 0	209,76
Piso 1	192,27
Piso 2	143,15
Piso 3	44,27

Em obras de ampliação ou edifícios com muitos pisos elevados, uma vez que a execução em alvenaria de pedra era mais difícil do ponto de vista estrutural, era adotada a execução de paredes de tabique. Como regra geral, os fatores que levaram a esta decisão foram: o poder económico do proprietário e a facilidade de execução, através da adoção de uma solução, que fosse mais fácil para levar os materiais às cotas mais elevadas, já que as paredes de pedra que eram a base, davam sustentação aos níveis superiores de estruturas de madeira.

Constatou-se que no piso 0 todas as paredes são em alvenaria de pedra (ver Apêndice A). Algumas dessas paredes estão ilustradas na Figura 28. Presume-se que a sua existência e localização se justifique pela necessidade de um elemento de elevada rigidez para ser capaz de dissipar as cargas existentes na zona central do edifício e provenientes dos pisos superiores.



Figura 28: Paredes de alvenaria de pedra do Piso 0

No piso 1, as paredes exteriores são em alvenaria de pedra e os interiores em tabique, como ilustrado na Figura 29.



a) Parede exterior em pedra



b) Parede interior de tabique

Figura 29: Paredes do Piso 1

Na Figura 30, podemos ver que as paredes do alçado principal, do piso 2, são em tijolo maciço cozido, que se prolongavam em aproximadamente 1,75m pelos alçados laterais e que as restantes paredes, exteriores e interiores, são em tabique.



a) Parede do alçado principal em tijolo maciço



b) Parede interior de tabique

Figura 30: Paredes do Piso 2

No piso 3, assim como no piso 2, ilustrado na Figura 31, as paredes do alçado principal são em tijolo maciço cozido e as demais paredes, exteriores e interiores são de tabique. Neste piso existe um terraço, como se observa na Figura 31-a.



a) Parede do alçado principal em tijolo maciço

b) Detalhe da parede de tijolo maciço

c) Parede interior de tabique

Figura 31: Paredes do Piso 3

Com o objetivo de conhecer a tipologia das paredes de tabique do edifício objeto de pesquisa, e determinar as suas dimensões gerais, bem como os seus elementos constituintes (tábuas, ripas e espessura do material de revestimentos), realizou-se um levantamento exaustivo e pormenorizado dos seus componentes. Esta ação também permitiu observar o estado físico de cada elemento.

Uma inspeção preliminar permitiu delimitar os locais adequados para realizar as sondagens (ou janelas de inspeção), fundamentais para permitir cumprir os objetivos supracitados.

Inicialmente, as paredes foram identificadas por piso, com uma nomenclatura de forma a servirem de referência para a identificação de cada etapa do levantamento. Essa nomenclatura é composta pela sigla PT (iniciais de parede de tabique), pelo número da parede e pela indicação do piso. Assim, a nomenclatura PT.10.3 identifica a parede de tabique 10, no piso 3.

Para melhor compreender os elementos constituintes das paredes de tabique e o seu método de execução, foram abertas janelas de inspeção nas paredes já identificadas, como podemos ver na Figura 32. Cada janela possui 1,00 m de largura por 0,50 m de altura, de forma a delimitar a área do levantamento. Considera-se que esta dimensão representa, suficientemente, a tipologia das paredes de tabique do edifício em estudo. Por uma questão de facilidade de designação as paredes de tabique passam a ser designadas, de agora em diante, como PT.



a) Exemplo de PT com argamassa de preenchimento b) Exemplo de PT sem argamassa de preenchimento

Figura 32: Janelas de inspeção tipo

Para a realização dos trabalhos de abertura das janelas de inspeção nas PT, para remoção da argamassa de revestimento e de enchimento das paredes, de forma a expor todos os componentes das paredes de tabique, utilizaram-se as seguintes ferramentas (ver Figura 33):

- Lanterna;
- Medidor de distância digital;
- Fita métrica;
- Martelo;
- Ponteiro.



Figura 33: Materiais utilizados para a abertura das janelas de inspeção nas PT

3.3.1 Pormenores construtivos das paredes de tabique

No levantamento realizado às PT procurou-se identificar a sua constituição, suas ligações com outras paredes, o seu estado aparente de conservação, estabelecer uma classificação para a sua tipologia (construtiva e geométrica), de acordo com a proposta de Padrão *et al.* (2020) [13], que se apresenta no Anexo A, e obter as dimensões médias da sua geometria. Também se procurou identificar o tipo de materiais de enchimento utilizados.

3.3.1.1 Caracterização dos elementos de madeira das paredes de tabique

A inspeção realizada permitiu concluir que todas as PT analisadas são de tabuado simples. Apresentam tábuas (com presença abundante de tábuas costaneiras) verticais de secção transversal bastante irregulares. As ripas de fasquio têm secção transversal retangular, executadas com espaçamento e, em algumas paredes, observou-se a existência de prumos posicionados verticalmente (Figura 34-a). Nas zonas secas apresenta um bom estado de conservação, mas nas zonas húmidas, observa-se que apresentam uma degradação muito significativa (Figura 34-b). A classificação destas paredes corresponde à tipologia T2S, com prevalência de tábuas costaneiras e fraca qualidade, exemplificada na Figura 35.



a) Janela de inspeção da parede de tabique PT 4.1

b) PT deteriorada

Figura 34: Constituição e estado de conservação das PT



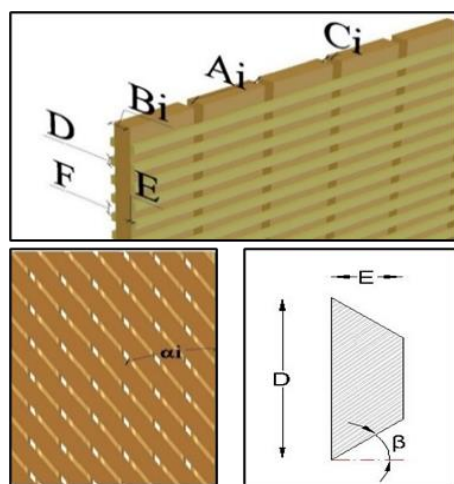
Tipo 2	T2S	Parede com tipologia padrão i, Simples. Transição entre tipo T1S e T2S. Com prevalência de costaneiras e fraca qualidade.		
---------------	-----	---	--	---

Figura 35: Classificação dos padrões construtivos proposta para as PT deste edifício (adaptado de [8])

Para a caracterização geométrica das PT usou-se uma classificação proposta, também, por de Padrão *et al.* (2016) [46], que pode ser consultada no Anexo A.

Para a caracterização geométrica das PT foram selecionadas 24 paredes, que estão identificadas nas plantas do Apêndice A. Os parâmetros avaliados estão apresentados no esquema geral ilustrado na Figura 36.



Legenda:

- Ai - Largura das tábuas da fiada i;
- Bi - Espessura das tábuas da fiada i;
- Ci - Espaçamento das tábuas da fiada i;
- D - Largura da face exterior do fasquio;
- E - Espessura da ripa do fasquio;
- F - Espaçamento entre ripas do fasquio;

Figura 36: Principais dimensões caracterizadas nas paredes de tabique (adaptado de [13])

Através das janelas de inspeção, foi possível concluir que o tabuado das paredes de tabique era simples, de madeira de pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*). Foram inspecionadas 24 paredes de tabique, sendo 16 interiores e 8 exteriores. As dimensões médias das tábuas verticais e diagonais e nas ripas de fasquio, nos diversos pisos estão expostas no Quadro 3. As paredes objeto destas medições situam-se no interior do edifício a partir do piso 1, porque neste piso as paredes exteriores são de pedra, e na envolvente e no interior do edifício a partir do piso 2. No Apêndice D encontram-se os resultados destas medições.

Apenas foram inspecionados os elementos estruturais que ofereciam segurança, pois o edifício no seu tardoz, como já referido anteriormente, estava em avançado estado de degradação, em ruína, que comprometeu os trabalhos nas proximidades.

Quadro 3: Resumo das dimensões das tábuas verticais e das ripas de fasquio das PT interiores e exteriores

Nível	Modelo	Piso	Tábuas Verticais - valores médios (cm)			Ripas de Fasquio - valores médios (cm)		
			Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
0	T2S	1	12,84	4,22	2,75	3,34	1,31	3,66
1	T2S	2	16,34	4,00	3,13	3,17	1,06	3,40
2	T2S	3	17,16	3,51	2,53	3,13	1,10	3,72
Valor médio (cm)			16,40	3,82	2,77	3,14	1,12	3,57
Desvio padrão (cm)			3,86	0,69	1,43	0,47	0,57	0,64
Coef. de variação (%)			23,52	17,93	51,71	15,03	50,99	17,82

Nos locais inspecionados, em algumas paredes de tabique, observou-se a presença de tábuas diagonais. Esta variação de tipologia construtiva foi apenas encontrada em algumas paredes, na maioria paredes simples com tábuas verticais.

Observou-se que as tábuas diagonais estavam dispostas em paredes que contêm abertura ao centro (Figuras 37 e 38), ou em paredes exteriores no encontro com paredes interiores (Figuras 39). O pano com as tábuas na diagonal era distribuído a começar a meio vão, com um ângulo de aproximadamente de 24° , e dispostas de modo simétrico. As paredes de tabique com tábuas diagonais são as PT 12.3 e PT 4.2, que podem ser localizadas nas plantas que constam do Apêndice A.

Relativamente às dimensões dos vários elementos de madeira, em termos médios, constatou-se que as tábuas alinhadas na vertical possuíam aproximadamente a mesma espessura das dispostas na diagonal.

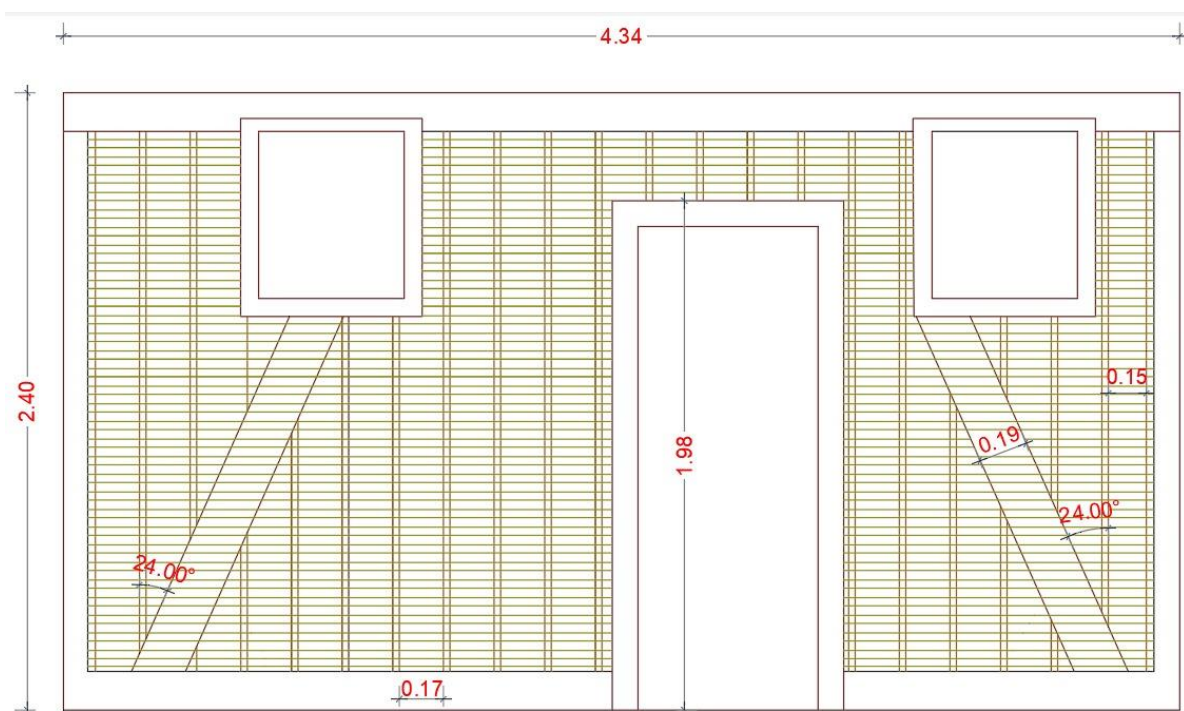


Figura 37: Esquema da uma PT com tábuas diagonais (PT 12.3)



a) Parede de tabique do Piso 2

b) Parede de tabique do Piso 3

Figura 38: Paredes de tabique com diagonais PT 4.2 e PT 12.3



Figura 39: Parede de tabique PT 4.2 no encontro com parede exterior em tabique com diagonal

Foi possível observar, no piso 2, a ligação, através de ligadores metálicos, entre os elementos de madeira das PT e as paredes de alvenaria de tijolo maciço que se prolongam do alçado principal pelas paredes exteriores laterais. Este tipo de ligação consiste em realizar a cravação na alvenaria de tijolo maciço de um elemento de liga metálica, que na outra extremidade é fixado através de pregos à parede de tabique. Nos casos em que se conseguiram detetar, observou-se a existência de uma ou duas ligações por parede. Apesar de não se ter um verdadeiro conhecimento do contributo deste elemento de ligação para o travamento das paredes, considerou-se relevante apresentar este pormenor construtivo, ilustrado na Figura 40-a e 40-b. O mesmo não se observou nas ligações entre PT ortogonais. Neste caso, não foi detetada alguma ligação efetiva, apenas se observou que as duas paredes se encontravam encostadas uma à outra e que os elementos horizontais, as ripas de fasquio, não estão coincidentes, ou seja, encontram-se intercalados entre si, como se ilustra na Figura 41.



a) Ligação com 1 ligador metálico



b) Ligação com 2 ligadores metálicos

Figura 40: Exemplos de ligações de PT a parede de tijolo maciço



Figura 41: Ligação entre duas PT ortogonais

3.3.1.2 Identificação dos materiais de revestimento das paredes de tabique

Quanto aos materiais utilizados como revestimento das paredes de tabique, verificou-se que o enchimento era sempre executado recorrendo às argamassas tradicionais das paredes de tabique, designadamente à base de terra, cal e palha. É de notar, que se detetaram materiais de enchimento diferentes ao longo dos pisos, o que pode indicar fases construtivas diferentes.

Foram encontrados 2 tipos de argamassa nas paredes interiores de tabique, a argamassa terrosa com palha, observada em todas as paredes do piso 1 e piso 2, incluindo as paredes da caixa das escadas que davam acesso ao piso 2 (Figura 42); e a argamassa terrosa sem palha, que estava presente no piso 3.

É de referir que para além da terra, a zona mais exterior das paredes de tabique (cerca de 1 cm) era constituída por uma argamassa de maior rigidez, presumivelmente de cal e adição de cimento, chamada de “argamassa bastarda”, que permitiu obter amostras como as que se observam na Figura 43.

Na Figura 44 podemos observar as diferentes argamassas que compõem a parede de tabique, no seu preenchimento e revestimento. Pode-se constatar que a argamassa de preenchimento, como já referido, era constituída de terra, por vezes com palha adicionada e que a argamassa de revestimento, de maior rigidez, continha cal na sua composição, por isso, de cor menos terrosa, mais esbranquiçada.

No Quadro 4, temos os valores médios das espessuras da argamassa de recobrimento registados nas PT, em cada piso, divididos por paredes interiores e exteriores. No Quadro 5 apresenta-se o valor médio registado em todas as paredes do levantamento. Todos os valores do levantamento estão registados no Apêndice D.



Figura 42: Argamassa terrosa com palha



Figura 43: Argamassa de enchimento e preenchimento



Figura 44: Diferentes argamassas de enchimento e revestimento, com coloração diferenciada

Quadro 4: Valor médio da espessura da argamassa das PT por piso

Nível (*)	Piso	Tipo de Parede	Modelo	Espessura (cm)
0	1	Interior	T2S	1,45
1	2	Interior		2,02
		Exterior		2,28
2	3	Interior		1,52
		Exterior		1,73

(*) Os níveis estão definidos no Quadro 1.

Quadro 5: Valor médio da espessura da argamassa das PT interiores e exteriores do edifício

Valores	Espessura	
	Paredes Interiores	Paredes Exteriores
Valor médio (cm)	1,67	2,01
Desvio padrão (cm)	0,31	0,39
Coefficiente de variação (%)	18,69	19,40

No piso 2, observou-se a diferença de argamassa na zona de transição das paredes de tabique com as paredes de tijolo maciço. Nas paredes de tabique a argamassa era terrosa e nas paredes de tijolo maciço a argamassa era de cimento, como se ilustra na Figura 45.



Figura 45: Encontro entre parede de tabique e parede de tijolo maciço

As paredes de tabique existentes no edifício estavam dispostas em duas direções, isto é, no alinhamento das vigas principais e na direção perpendicular a esse vigaumento. Na Figura 46 mostra-se a ligação entre uma parede interior de tabique e o pavimento inferior. Este pormenor é referente às paredes de tabique cuja disposição é na direção perpendicular à disposição das vigas principais.



Figura 46: Encontro de uma parede interior de tabique com pavimento

Em relação à ligação existente ao nível inferior, constatou-se através de uma análise visual que as paredes de tabique existentes no edifício se encontravam simplesmente apoiadas aos respetivos pavimentos. Deste modo, é possível aferir que o travamento transversal das paredes de tabique era conseguido através do rodapé e das tábuas de soalho.

Foi possível constatar que as tábuas verticais das paredes de tabique prolongavam-se para além do forro de madeira do teto que a circunda. O travamento transversal do topo superior da parede interior de tabique era efetuado através de sanca de teto em madeira, que juntamente com o forro de madeira se encontravam fixos à estrutura de madeira do piso superior.

No Quadro 6 e no Quadro 7 apresentam-se, respetivamente, os valores médios das dimensões das tábuas verticais e das ripas de fasquio obtidos no levantamento do edifício objeto de estudo e os valores encontrados na bibliografia existente [5 e 13]. Saliente-se que, em ambos os casos, a tipologia construtiva (T2S) é semelhante à encontrada neste caso de estudo.

Quadro 6: Comparação das dimensões das tábuas verticais das PT

Dimensões	Tábuas Verticais - valores médios (cm)		
	Edifício em estudo	Pinto R. [5] (1)	Padrão <i>et al.</i> [13] (2)
Largura, A	16,40	13,80	14,80
Espessura, B	3,82	3,50	4,80
Espaçamento, C	2,77	2,60	4,70

(1) – Estes valores médios referem-se a dados de um edifício; (2) – Estes valores médios referem-se a dados de dez edifícios.

Quadro 7: Comparação das dimensões das ripas de fasquio das PT

Dimensões	Ripas de Fasquio - valores médios (cm)		
	Edifício em estudo	Pinto R. [5] (1)	Padrão <i>et al.</i> [13] (2)
Largura, D	3,15	3,00	3,30
Espessura, E	1,40	1,40	1,10
Espaçamento, F	4,15	4,20	4,50

(1) – Estes valores médios referem-se a dados de um edifício; (2) – Estes valores médios referem-se a dados de dez edifícios.

3.3.2 Pormenores construtivos dos pavimentos de madeira

Os pavimentos eram constituídos por soalho de madeira, com uma espessura média de 2,5 cm, apoiados em vigas secundárias, igualmente de madeira pinheiro-bravo (*Pinus pinaster*). O pavimento possuía um forro de teto, em tabuado de madeira, com uma espessura média de 2,0 cm, que se desenvolvia perpendicularmente às fachadas principal e posterior, sendo que ao longo do edifício eram apoiadas nas vigas secundárias, paralelas à fachada principal que conjuntamente com os frechais das paredes de tabique constituíam o pavimento, como se exemplifica na Figura 47.

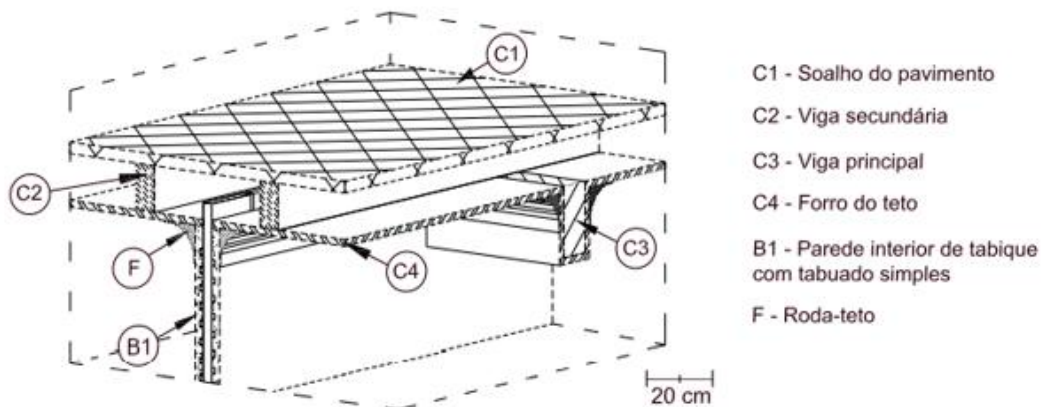


Figura 47: Representação da solução construtiva dos pavimentos de madeira [5]

As vigas principais apoiavam-se nas paredes laterais do edifício como é possível ver nas plantas do Apêndice B. Nessas plantas são também representadas as direções dos vigamentos de madeira.

Apresentam-se, em seguida, fotos que ilustram a constituição dos pavimentos em cada piso. Nas Figuras 48 e 49 representa-se o pavimento do piso 1 (PAV – PISO 1), onde se constatou uma estrutura de vigamentos e tábuas de madeira, justapostas ortogonalmente.



a) Vista da face inferior no 1.º compartimento b) Vista da face inferior nos restantes compartimentos c) Vista da face superior d) Vista geral do piso

Figura 48: Representação do pavimento do piso 1

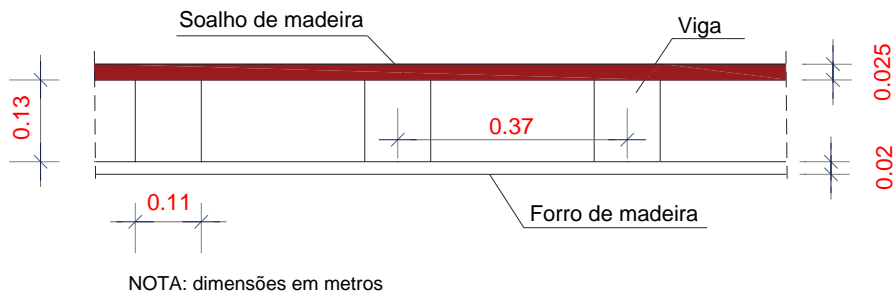


Figura 49: Detalhe das dimensões das vigas do pavimento no 1.º compartimento do piso 1 (corte representativo)

O pavimento do piso 2 (PAV – PISO 2) apresenta uma estrutura diferente das demais. Neste caso, o soalho de madeira é aplicado sobre tábuas de madeira que se apoiam em vigas secundárias, como se observa nas Figuras 50 e 51.



Figura 50: Representação do pavimento do piso 2

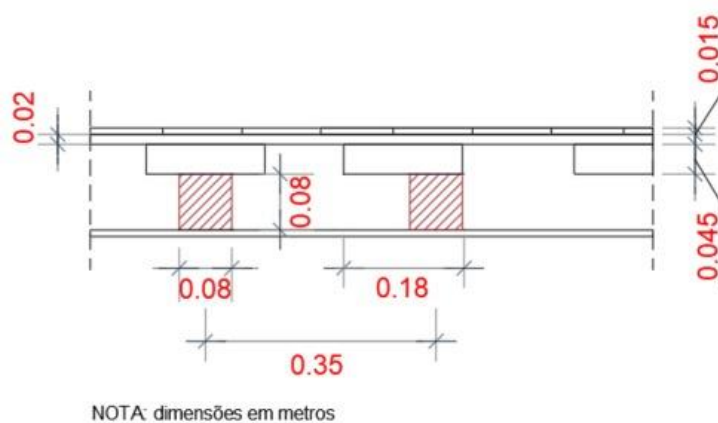
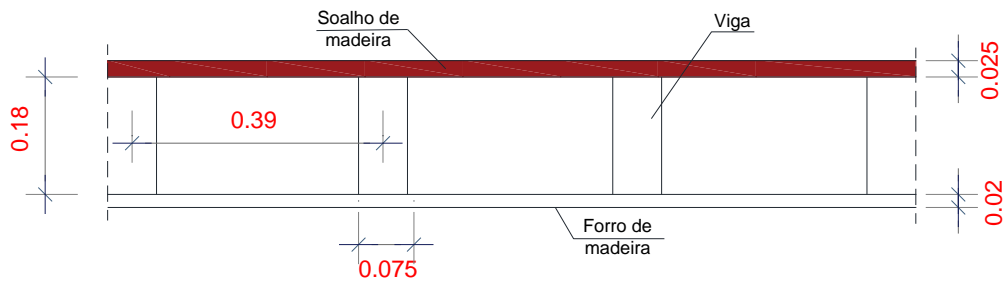


Figura 51: Detalhe das dimensões das vigas do pavimento do piso 2 (corte representativo)

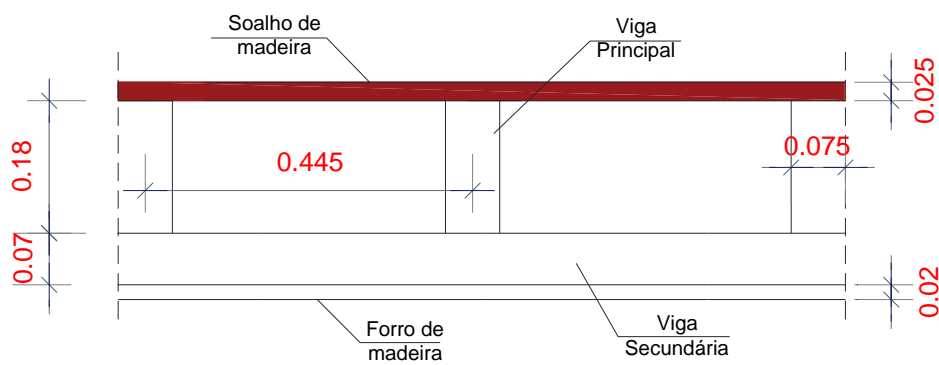
Relativamente ao pavimento do piso 3 (PAV – PISO 3), observou-se que a maioria do pavimento tinha uma constituição igual à do piso 1 (Figura 52) e que o pavimento do compartimento situado na zona posterior do edifício (PAV 2.3) apresenta uma estrutura em que as vigas principais se apoiam em vigas transversais secundárias (Figura 53). A localização destes diferentes pavimentos está representada na Figura 54. A estrutura de madeira que

constituía o pavimento apresentava-se em melhor estado de conservação, comparada com a estrutura dos outros pisos. Porém, na zona junto ao alçado principal, como o vão da porta estava aberto, permitindo exposição direta das intempéries, como entrada de água das chuvas e exposição solar intensa, o pavimento já apresentava uma degradação acentuada, como podemos observar nas Figuras 55 e 56.



NOTA: dimensões em metros

Figura 52: Detalhe das dimensões das vigas da maioria do pavimento do piso 3 (corte representativo)



NOTA: dimensões em metros

Figura 53: Detalhe das dimensões das vigas da zona posterior do pavimento do piso 3 (corte representativo)

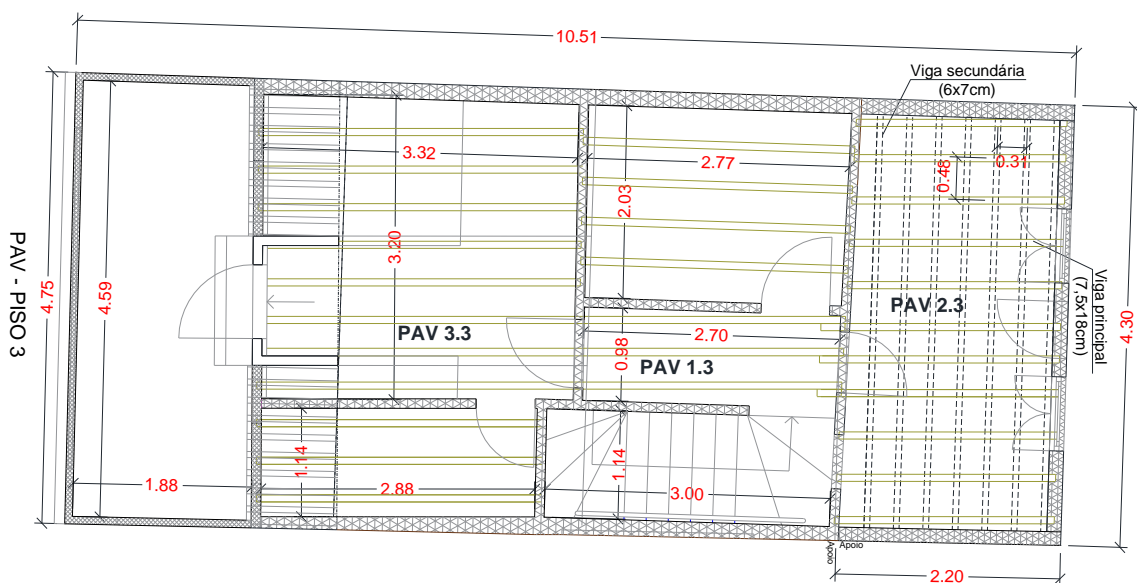


Figura 54: Planta estrutural do piso 3



Figura 55: Representação do pavimento do piso 3



Figura 56: Zona de transição no piso 3 entre os pavimentos de madeira (interior) e de betão (exterior)

Tal como já foi referido, no piso 3 do edifício existe um terraço, conseguido através do recuo da parede do alçado principal, que possivelmente poderá ter sido uma adaptação. O pavimento nesta zona específica é em betão, tendo sido criada uma zona de transição para compatibilizar a ligação entre dois materiais construtivos diferentes, betão-madeira (Figura 56).

No Quadro 8 apresentam-se os valores médios das vigas secundárias dos vários pisos. As dimensões b e h da secção transversal da viga correspondem à base e à altura (em centímetros), respetivamente. A dimensão d representa o espaçamento médio entre as vigas do piso (em centímetros). Todas as medições estão resumidas no Apêndice B.

Quadro 8: Dimensões médias das vigas dos pavimentos do edifício

Piso	Dimensões médias		
	b (cm)	h (cm)	d (cm)
1	11,0	13,0	26,0
2	8,0	8,0	26,0
3	7,5	18,0	32,0

Relativamente aos tetos, estes eram constituídos por um revestimento em tabuado de madeira, que geralmente estava ligado às vigas principais (ver Figura 57).



Figura 57: Revestimento do teto em madeira

Por último, a cobertura era constituída em estrutura de madeira revestida com telha cerâmica, como se mostra na Figura 58.



Figura 58: Revestimento da cobertura

4. INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO

As inspeções aos edifícios permitem um conhecimento técnico do estado de conservação dos materiais e sistemas construtivos, do diagnóstico de ocorrências de patologias e/ou danos e são um meio de apoio para a tomada de decisão por intervenções subsequentes mais adequadas. A dificuldade em distinguir o tipo de anomalia está relacionada com a possível combinação das mesmas e com as suas causas.

Neste trabalho foi feita uma análise da envolvente, dos elementos que estão diretamente expostos aos agentes de deterioração e da parte interior do edifício.

Realizou-se uma inspeção visual ao edifício para a identificação das principais patologias e outros danos que possam acelerar a degradação da sua durabilidade. Essa inspeção foi complementada com uma campanha de ensaios *in situ* com a finalidade de caracterizar o comportamento de alguns elementos estruturais, designadamente, os pavimentos e o estado de alguns elementos de madeira pertencentes às paredes de tabique e aos pavimentos. É de ressaltar que devido ao alto grau de deterioração na zona posterior do edifício (ver Figura 25), e para garantir a segurança de todos os envolvidos, a área de inspeção foi limitada à região onde a segurança estava garantida.

Depois de várias visitas ao local para a realização da inspeção visual, acompanhada de levantamento fotográfico, foi possível fazer uma listagem das principais patologias existentes no edifício, a maioria delas, devido ao envelhecimento e degradação dos materiais e dos danos que contribuem para essa degradação. A seguir, serão expostas algumas das patologias e dos danos encontrados no edifício em estudo.

4.1 Principais Patologias

4.1.1 Fendilhação e fissuração

Como foi citado anteriormente, o edifício, na época da inspeção, encontrava-se desocupado há muito tempo e, como consequência, num avançado estado de deterioração. Observou-se a presença, frequente em todas as paredes, de fendilhação (abertura longitudinal que atravessa toda a espessura do reboco) e fissuração (abertura longitudinal curta, fina, com desenvolvimento discreto que afeta apenas a parte superficial).

As mudanças higroscópicas provocam variações dimensionais nos materiais porosos que integram os elementos e componentes da construção, originando a expansão e a contração dos materiais, consoante o aumento e a diminuição do teor de humidade presente nos mesmos. Estes movimentos podem causar a fissuração (ver Figura 59).

Observou-se fendilhação do tipo estrutural em algumas paredes do edifício, ilustrada na Figura 60, mais especificamente, na parte do edifício em que foi possível realizar a inspeção.

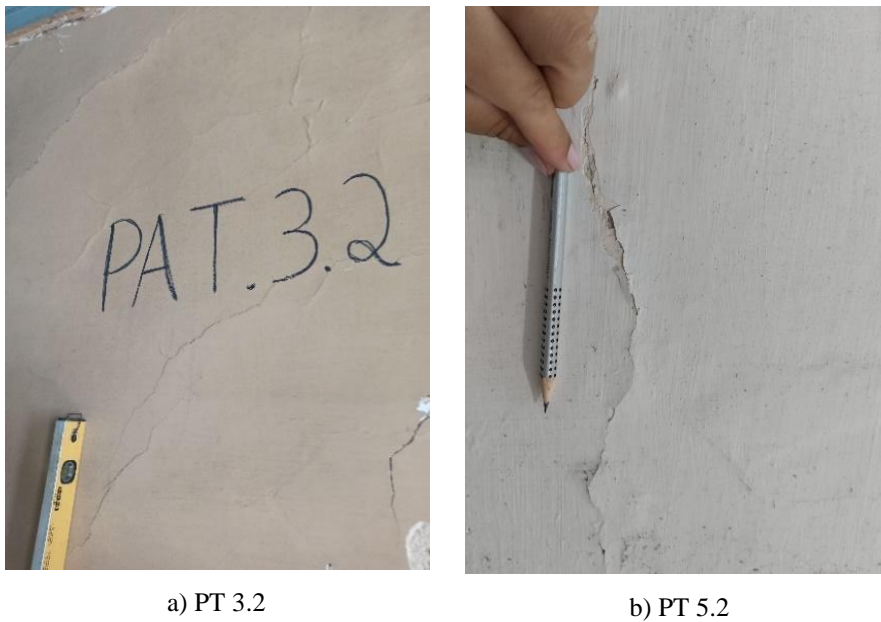


Figura 59: Exemplos de fissuração



Figura 60: Exemplos de fendilhação estrutural

As fendas são classificadas como passivas ou ativas, dependendo da forma como as fendas evoluem em função do tempo, seja por aumento da abertura, seja por aumento da extensão. As que estão estabilizadas (abertura constante) são classificadas como passivas, as ativas apresentam movimentos frequentes (de abertura e/ou extensão). Essa expansão contínua, normalmente, indica que a situação necessita de mais atenção, pois a causa ainda está presente.

No caso do edifício em estudo, constatou-se que a maioria das fendas estão ativas, em decorrência da queda parcial da estrutura, na zona posterior do edifício, o que poderá comprometer a estrutura global do edifício e que, sem intervenção a curto prazo, poderá pôr em causa a segurança do mesmo.

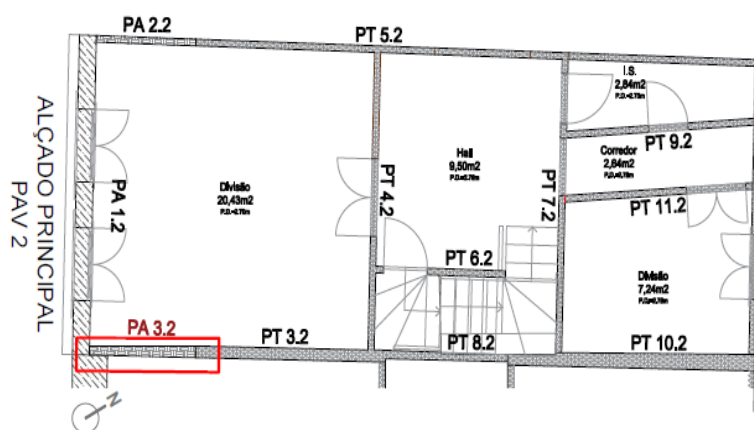
4.1.2 Humidade

As manchas de humidade nas paredes surgem, diversas vezes, acompanhadas de outras manifestações anómalas como, empolamento, escorrências, destacamentos, sujidade, diferenças de tonalidade, colonização biológica e/ou desenvolvimento de manchas de bolores.

Na Figura 61 ilustra-se um exemplo de manchas de humidade, em toda a extensão, mais concentradas junto ao teto, decorrentes de infiltração das águas da chuva. Esta parede (PA3.2) localiza-se no piso 2, na junção das paredes exteriores do alçado principal com o alçado lateral e sob o terraço localizado no piso 3.



a) Manchas de humidade



b) Localização da patologia

Figura 61: Exemplo de infiltração

Após uma inspeção visual e a realização de alguns ensaios, foi possível verificar que os pavimentos do edifício se encontravam em boas condições, exceto no piso 1 e 2, que estão destruídos pela queda parcial do alçado posterior. Como referido anteriormente, as vigas do pavimento do piso 3, junto à abertura de acesso ao terraço, encontram-se em estado de

degradação por exposição direta à entrada da água da chuva, devido à inexistência de uma porta para o exterior, como se mostra na Figura 62.



Figura 62: Viga do pavimento do piso 3 exposta à humidade

4.1.3 Destacamento do reboco

Observou-se a má aderência do revestimento à estrutura, com forte presença de humidade e aparente perda das características dos materiais, que conduziu ao desgaste, possivelmente causadas por pequenas deformações da estrutura, de possíveis intervenções inadequadas e variação da dimensão dos materiais.

Na face interna de muitas paredes, principalmente nas de divisa ao edifício contíguo, e em diferentes áreas do teto dos pisos 1, 2 e 3, observou-se o destacamento do reboco, principalmente em locais mais expostos à entrada de água, com elevado grau de deterioração do elemento (Figura 63).



a) Caixa de escadas



b) Parede PT 3.2

Figura 63: Destacamento de reboco em paredes de tabique

Os rebocos, como são constituídos por várias camadas diferentes e, nos edifícios históricos, por rebocos de diferentes períodos, possuem coeficientes de dilatação térmico e hídrico diferentes o que, em certas circunstâncias, podem provocar tensões que levam à fendilhação e ao destacamento de camadas. Normalmente, com a deformação do suporte (assentamentos, fluência, concentrações de tensões, etc.) são transmitidas tensões aos rebocos que, em muitos casos, ultrapassam a sua resistência dando origem a degradações. Estão relacionadas com esta patologia, a retração do reboco, as dilatações e contrações higrotérmicas, a deficiente dosagem da argamassa, a presença prolongada de humidade e a espessura inadequada do revestimento [47].

4.2 Outros Danos

Todos os danos registados na inspeção do edifício foram localizados em zonas seguras, porque como referido anteriormente, a zona do alçado posterior era insegura, em risco de queda.

4.2.1 Descamação da tinta

Com o passar dos anos, e sem uma manutenção correta dos materiais, as características e o desempenho iniciais não serão mantidos e podem mesmo ser perdidas na sua totalidade. A Figura 64 ilustra uma situação de degradação da pintura do forro do teto, em madeira.



Figura 64: Destacamento de tinta do teto do pavimento do piso 2

4.2.2 Sujidade

Observou-se que a sujidade no alçado principal do edifício é generalizada, com maior intensidade ao nível do piso 1, com manchas mais escuras sob os vãos das janelas, resultantes da escorrência da água da chuva, observadas sob os peitoris de toda a fachada, como é possível

verificar na Figura 65. Foi, ainda, observada a ocorrência de manchas localizadas, sujidade superficial, alteração cromática, colonização biológica, que até ao momento se manifestam no carácter estético do edifício. A sujidade é um dos mecanismos de degradação existentes nos paramentos, por ausência de limpeza corrente, assim como pela poluição atmosférica, em decorrência de acabamentos rugosos.



Figura 65: Exemplo de sujidade ao longo da fachada do alçado principal

4.2.3 Apodrecimento da caixilharia de madeira e vidros partidos

Uma inspeção cuidada das janelas proporcionar-nos-á informações importantes sobre o seu estado e eventuais danos nos seus componentes e materiais.

As caixilharias existentes no edifício em estudo, são exteriores, permitindo que a madeira fique exposta e apodreça. Trata-se de caixilharias construídas manualmente, com variações de geometria e pormenor, com etapas de degradação distintas, e encontram-se, na sua maioria, em estado avançado de degradação.

Como ilustrado na Figura 66, os danos observados relacionam-se com a falta de manutenção, associadas à ação da humidade, ao próprio envelhecimento e à degradação dos materiais. É possível ver a fissuração, o descasque da pintura das caixilharias, a ausência de vedante, a presença de humidade. As anomalias da madeira na caixilharia resultam dos ciclos de molhagem e secagem que conduzem ao aumento de volume da madeira ao absorver água e à sua contração ao secar. Os resultados desta degradação são a perda de requisitos de desempenho de estanqueidade, de calor, de acústica e de segurança. O melhor meio de evitar

este dano é proteger a superfície exterior da madeira por meio de pintura ou envernizamento. Na Figura 67 apresenta-se a localização destes danos.



a) Caixilharia com pintura desgastada

b) Zona da caixilharia deteriorada

Figura 66: Exemplo de danos existentes nas caixilhariias de madeira

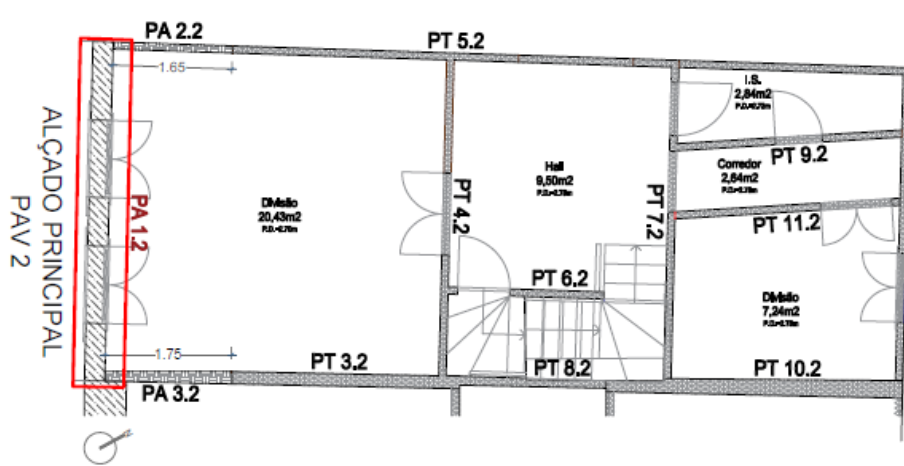


Figura 67: Localização dos danos na caixilharia de madeira

Em relação aos vidros, constatou-se que estes são de pequena espessura, de aproximadamente 3,0 mm, e encontravam-se muito deteriorados, partidos, como se mostra na Figura 68-a.

Os vidros partidos (ver Figura 68-b) podem ser decorrentes do envelhecimento e da degradação dos materiais de vedação (massa de vidreiro, mastiques ou borrachas), dos materiais plásticos e das pinturas sob a ação dos agentes atmosféricos ou da fratura de caixilhos. Os vidros partidos por flexão são devidos, especialmente, pela ação do vento, ou por ações de choque resultantes do impacte acidental ou propositado de objetos contundentes, ou por choque

térmico, ou por efeito de deformações das estruturas ou das paredes de alvenaria em que as caixilharias estão instaladas. Na Figura 69 é possível localizar estes danos no edifício.



Figura 68: Vidros partidos - caixilharias



Figura 69: Localização dos vidros partidos – caixilharias

4.2.4 Desalinhamento das fiadas das telhas

No edifício em estudo foi possível observar que a estrutura de madeira do telhado sofreu deformações (Figura 70-a), e em consequência, o desalinhamento das telhas, que podem causar infiltrações das águas da chuva para o interior do edifício, que poderá ser evitado com uma

manutenção e reparação periódicas. Na Figura 70-b ilustram-se manchas de colonização biológica.

Na Figura 71 apresenta-se a localização dos danos visíveis na cobertura, pois havia acesso pelo terraço a esta parte da cobertura.



Figura 70: Exemplo de danos existentes na cobertura

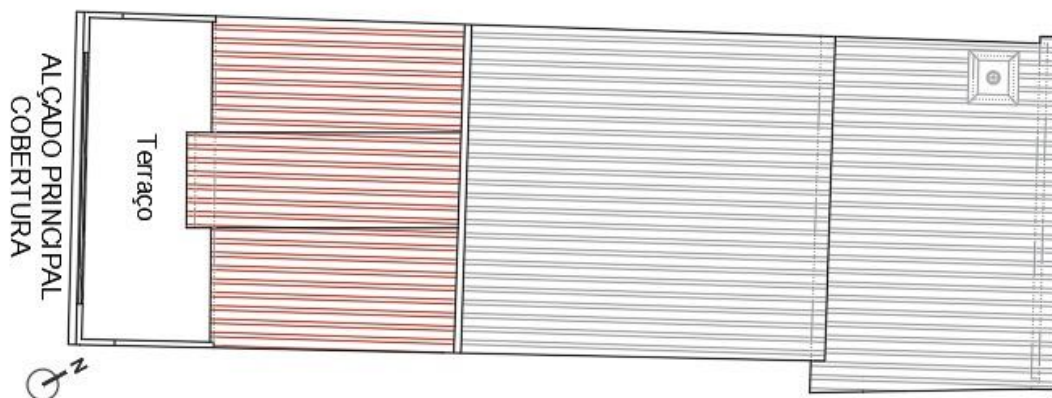


Figura 71: Localização dos danos visíveis na cobertura

4.2.5 Degradação da rede de águas pluviais na cobertura

Detetou-se uma degradação generalizada da rede de águas pluviais, que condiciona o seu funcionamento. A caleira que recolhe as águas pluviais do telhado está degradada, em estado de corrosão e desencaixada em diferentes zonas, como mostra a Figura, impedindo o normal funcionamento do escoamento das águas provenientes da chuva, comprometendo, assim, os requisitos de desempenho destes sistemas. A localização destes danos é a mesma que se representou na Figura 71.



a) Caleiro em estado de corrosão e tubo de queda sem encaixe



b) Caleiro partido

Figura 72: Danos no sistema de drenagem da cobertura

4.3 Campanha Experimental *In Situ*

Para complementar a inspeção visual foi programada uma campanha de ensaios experimentais *in situ* que pretendem avaliar o estado de conservação de alguns elementos de madeira e argamassas, designadamente os pavimentos e as paredes de tabique. Para tal, foram realizados três tipos de ensaios: de vibração ambiental, com o Resistograph® e do teor de humidade.

4.3.1 Ensaio de vibração ambiental

O procedimento utilizado no ensaio de vibração ambiental dos pavimentos, envolveu a utilização de um sismógrafo (ver Figura 73), para a medição das acelerações verticais dos pavimentos e/ou das vigas dos pavimentos submetidas à vibração ambiente e à aplicação de impulsos verticais espaçados no tempo.



Figura 73: Utilização de sismógrafo na identificação dinâmica de um pavimento de madeira

Nos ensaios foram utilizados sismógrafos constituídos por acelerómetros triaxiais (GeoSIG GSR-18bit), com uma frequência de aquisição de 250 Hz, tendo os mesmos sido posicionados em pontos de maior deslocamento modal, conforme os modos de vibração com interesse em identificar.

Efetuada os registos temporais em aceleração, os resultados são decompostos em frequências através da utilização de algoritmos clássicos de FFT (*Fast Fourier Transform*). Neste caso os registos foram analisados através do programa GeoDAS.

Neste estudo, o sismógrafo foi posicionado nos pisos 1, 2 e 3 e foram feitos, na totalidade, 4 ensaios em locais diferentes. A Figura 74 mostra o local onde foi colocado o equipamento sismógrafo no piso 1, em azul S.1.1. Os demais locais podem ser consultados no Apêndice C.

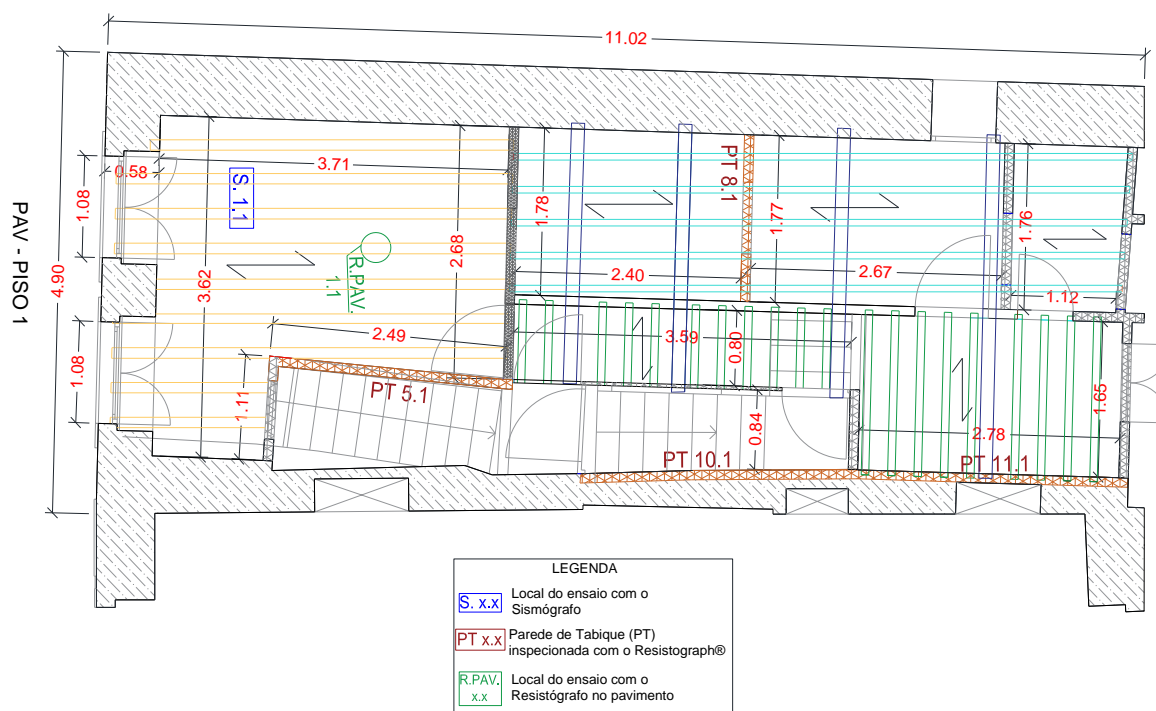


Figura 74: Planta do piso 1 com a localização do posicionamento do sismógrafo

4.3.2 Ensaio com RESISTOGRAPH®

Para a realização do ensaio com o Resistograph® é necessário deixar o equipamento estável, sem efetuar movimentos bruscos para que a agulha não se parta. No desenrolar do ensaio acende-se uma luz na escala centimétrica que permite perceber quantos centímetros a agulha já penetrou na peça de madeira e, sabendo a largura da peça a ensaiar, pode perceber-se quando poderá terminar o ensaio. Outro dano possível de acontecer com a agulha é a eventual

existência de algum elemento de maior dureza no interior da peça, como por exemplo, um prego de aço, um parafuso de aço ou algum nó da própria madeira.

Para avaliar o estado de conservação dos elementos de madeira, foi tida em conta a variação do estado de conservação em profundidade das zonas de madeira da secção de perfuração de acordo com os gráficos do Resistograph®, de que se apresenta um exemplo na Figura 75. Nesse gráfico, as abcissas correspondem à dimensão da peça ensaiada (mm) e as ordenadas ao designado “valor de Resistograph®”.

O estado de conservação das zonas de uma secção de madeira é classificado do seguinte modo:

- **Bom estado de conservação:** quando a leitura do Resistograph® é superior a 50% do valor médio do Resistograph®, sendo estas zonas assinaladas a verde na barra de abcissas do gráfico;
- **Ligeiro estado de degradação:** quando a leitura do Resistograph® se encontra entre 25% e 50% do valor médio do Resistograph®, sendo estas zonas assinaladas a amarelo na barra de abcissas do gráfico;
- **Estado de degradação avançado:** quando a leitura do Resistograph® é inferior a 25% do valor médio do Resistograph®, sendo estas zonas assinaladas a vermelho na barra de abcissas do gráfico.

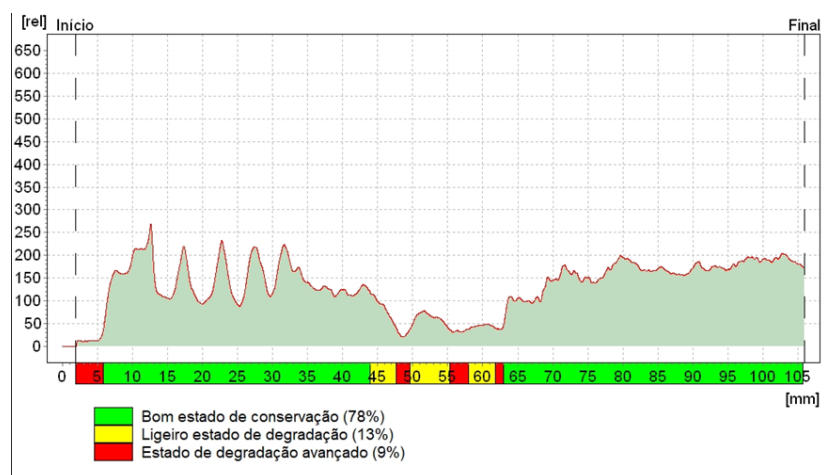


Figura 75: Exemplo de gráfico obtido num ensaio com o Resistograph®

4.3.2.1 Localização dos ensaios no pavimento

Executou-se o ensaio em 6 vigas do pavimento do edifício, duas vigas do pavimento do piso 1, uma viga do pavimento do piso 2 e 3 vigas do pavimento do piso 3. Na Figura 76,

apresenta-se a planta de localização do ensaio no pavimento do piso 3. As restantes localizações podem ser observadas no Apêndice C. Na Figura 77 ilustra-se a realização do ensaio.

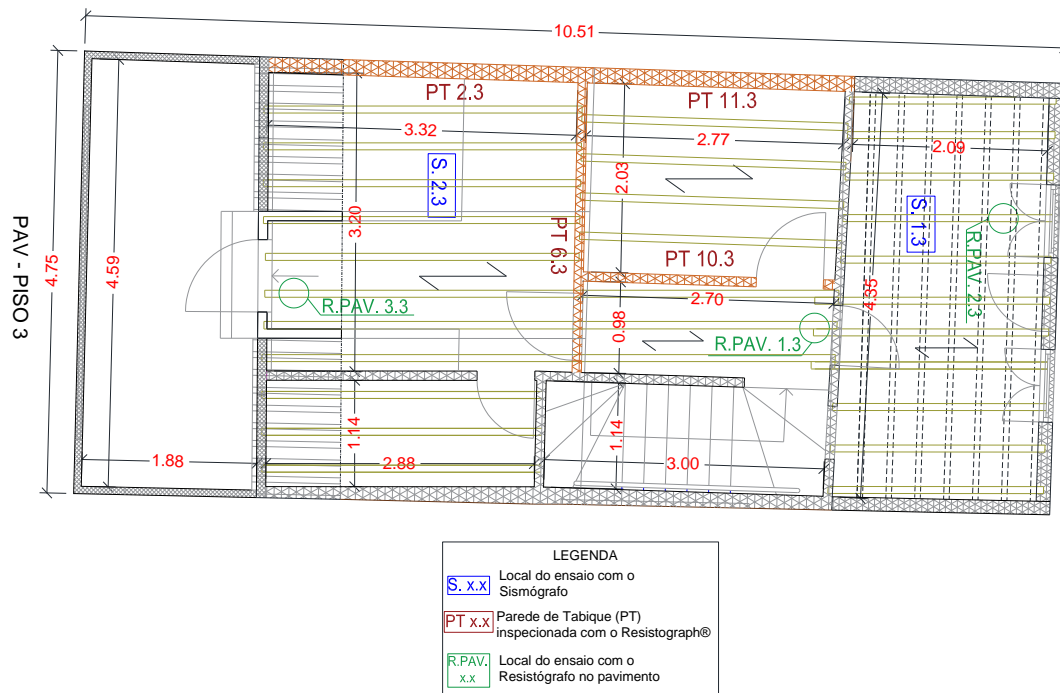


Figura 76: Planta do piso 3 com a localização dos ensaios com o Resistograph® em vigas



Figura 77: Realização do ensaio com Resistograph® em vigas

4.3.2.2 Ensaio nas tábuas das paredes de tabique

A realização do ensaio com o Resistograph® em paredes de tabique é semelhante ao ensaio realizado nas vigas de pavimento. É preciso ter cuidado com os movimentos bruscos durante a realização do ensaio e ter atenção para que o equipamento fique perpendicular à superfície a ser ensaiada.

Executou-se o ensaio em 12 paredes de tabique do edifício, 2 paredes do piso 1, 6 paredes do piso 2 e 4 paredes do piso 3. Na Figura 78, apresenta-se a planta de localização do ensaio no piso 2, podendo consultar-se as restantes localizações no Apêndice C. Na Figura 79 pode observar-se a realização do ensaio.

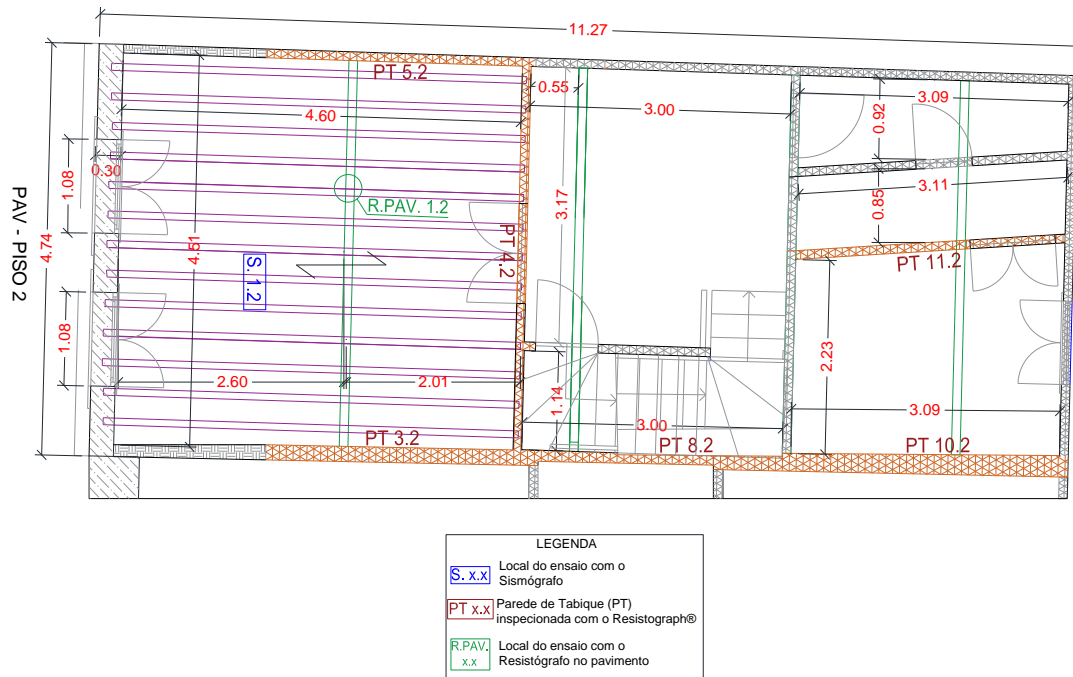


Figura 78: Planta do piso 2 com a localização dos ensaios com o Resistograph® em PT



Figura 79: Realização do ensaio com Resistograph® em paredes de tabique

4.3.3 Ensaio de teor de humidade

No dia 6 de dezembro de 2022, com a utilização de medidor de humidade (humidímetro), realizaram-se os ensaios de determinação do teor de água nas argamassas de revestimento das paredes de tabique, assim como nas tábuas constituintes das PT. Neste dia,

em Viseu, de acordo com o Instituto Português do Mar e da Terra (IPMA), no período da realização dos ensaios, a humidade relativa do ar era de, aproximadamente, 76% e a temperatura do ar era próxima dos 14,8°C. As demais informações climáticas podem ser consultadas no Anexo C.

4.3.3.1 Nas argamassas

Para a realização deste ensaio na argamassa de revestimento da parede de tabique, utilizou-se a Norma Portuguesa NP EN 1097: Ensaios das propriedades mecânica e física dos agregados - Parte 5: Determinação do teor de água por secagem em estufa ventilada [48]. Esta norma especifica o método de referência utilizado como ensaio de tipo para a determinação do teor de água dos agregados por secagem em estufa ventilada, à temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. A secagem em estufa dá uma medida da quantidade total de água livre presente num provete de ensaio de agregado. Esta água pode encontrar-se quer à superfície, quer no interior das partículas, nos poros acessíveis à água.

Os aparelhos e utensílios utilizados, representados na Figura 80, foram os seguintes:

- Sacos plásticos com vedação;
- Cápsula de alumínio;
- Balança de alta precisão;
- Estufa;
- Humidímetro Protimeter Surveymaster SM.



a) Humidímetro, sacos e cápsula



b) Balança de precisão



c) Estufa do laboratório DEC-IPV

Figura 80: Utensílios utilizados na determinação do teor de humidade e do teor de água

Com o objetivo de identificar o teor de água na argamassa de revestimento das paredes de tabique, elaborou-se um esquema do elemento construtivo com uma grelha de pontos (ver Figura 81). De acordo com a dimensão da área em análise, foram desenhados painéis de 2,0 m

de altura por 0,50 m de largura, com espaçamento entre pontos, a cada 0,20 m na vertical e a cada 0,10 m na horizontal.

Inicialmente a medição com o humidímetro Protimeter Surveymaster SM® realizou-se nas superfícies das paredes de tabique (argamassa de revestimento), com cinquenta medições por parede, Figura 82.

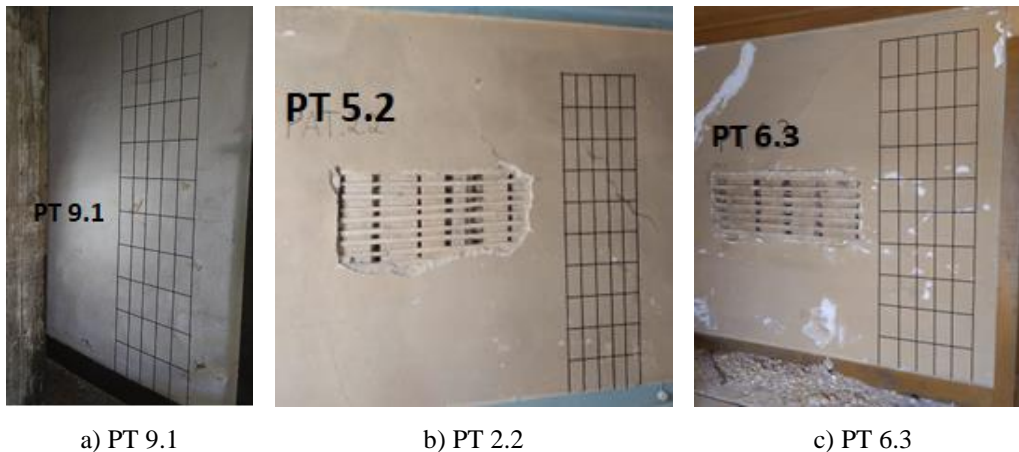


Figura 81: Marcação das paredes para a realização das medições com o humidímetro

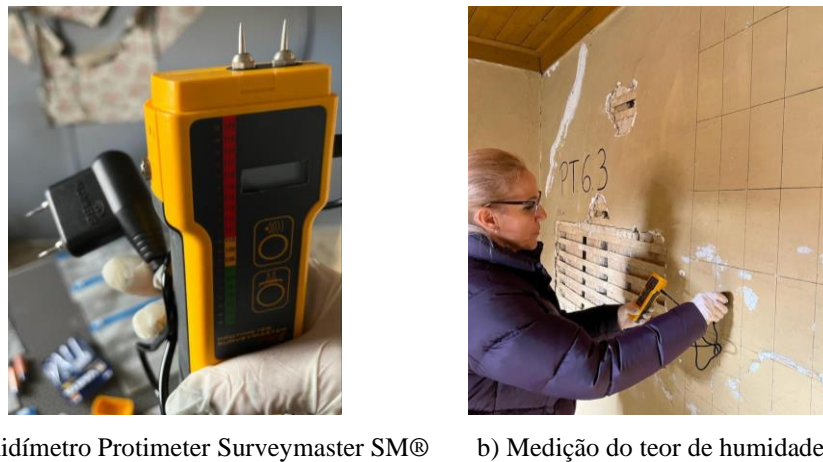


Figura 82: Realização das medições com o humidímetro nas argamassas de recobrimento

As medições e extração do material a ser ensaiado, foram realizadas em três paredes distintas, PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3, com exposições climáticas diferentes quanto à insolação e ventilação, assim como localizadas em pavimentos distintos. A localização destas paredes está indicada nas plantas do Apêndice A.

Para a realização do ensaio de teor de água em laboratório, as amostras de argamassas foram retiradas no topo, no meio e na zona inferior dos painéis de 2,0 m de altura por 0,50 m de largura, referidos anteriormente. Estas amostras foram armazenadas em sacos plásticos,

herméticos, devidamente fechados para evitar minimamente que o teor de água contido nas amostras fosse alterado, até a pesagem e colocação do material na estufa.

Já no laboratório, conforme ilustrado nas Figuras 83 e 84, os recipientes foram inicialmente pesados, em balança de precisão, antes da colocação das amostras retiradas dos sacos plásticos, e na sequência realizou-se a pesagem dos recipientes com as amostras. Após 24h, e imediatamente após a retirada da estufa, os recipientes foram pesados novamente, de forma a obter o teor de água do material seco, como recomenda a Norma NP EN 1097.



a) Amostras das argamassas recolhidas b) Utilização da balança de alta precisão

Figura 83: Armazenamento e pesagem das amostras em laboratório



a) Colocação das amostras na estufa b) Amostras dentro da estufa

Figura 84: Processo de secagem das amostras em laboratório

4.3.3.2 Nas tábuas de madeira

Nos mesmos painéis onde se removeram as amostras de argamassa de enchimento, realizou-se nas tábuas de madeira das paredes de tabique a medição com o humidímetro (ver Figura 85). O procedimento foi idêntico aos realizado nas argamassas.

4.3.3.3 Nas vigas dos pavimentos de madeira

Com o mesmo humidímetro, foram realizadas no total 6 medições nas mesmas vigas de madeira nos 3 pisos do edifício em que se realizaram os ensaios com o Resistograph®. Refira-se que o pavimento do piso 1 tem uma estrutura formada por um conjunto de vigas apoiadas

em dois sentidos, as vigas principais, paralelas à parede do alçado principal e apoiadas nas paredes laterais de pedra do edifício (Figura 86), e as vigas secundárias, transversais e sobrepostas às principais, apoiadas na parede do alçado principal e na parede intermediária do edifício, também em pedra (Figura 87).



a) Piso 1



b) Piso 3

Figura 85: Ensaio com o humidímetro nas tábuas de madeira das PT



a) Medição na face inferior



b) Medição na face superior

Figura 86: Ensaio com o humidímetro nas vigas do piso 1



a) Piso 2



b) Piso 3

Figura 87: Ensaio com humidímetro nas vigas de madeira

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Terminada a descrição da preparação e realização de cada um dos ensaios, apresentar-se-ão, neste capítulo, os resultados obtidos. Primeiramente, os resultados dos ensaios realizados nos pavimentos, que são: ensaio de vibração ambiental, com uso do sismógrafo e ensaio de resistência, com a utilização do Resistograph® e do humidímetro. Apresentar-se-ão os valores experimentais e os cálculos dos valores teóricos, e na sequência a comparação entre os resultados obtidos dos dois ensaios. E ainda, uma breve discussão sobre a influência da degradação dos elementos de madeira, identificados pelo ensaio com o uso do Resistograph®, na rigidez dos pavimentos.

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios realizados nas paredes de tabique, na argamassa de revestimento e nos elementos de madeira, nomeadamente, ensaio de resistência à penetração com o uso do Resistograph®, ensaio do teor de água e ensaio com o humidímetro, seguido de uma análise aos resultados obtidos.

5.1 Ensaios nos Pavimentos de Madeira

5.1.1 Ensaio de vibração ambiental

De acordo com o exposto na secção 4.3.1, os dados obtidos no ensaio de vibração ambiental correspondem, respetivamente (e analisando de cima para baixo), à frequência associada ao primeiro modo de vibração na direção longitudinal, transversal e vertical. No Quadro 9 apresenta-se o registo dos resultados obtidos no ensaio, que representam o primeiro modo de vibração na direção vertical, informação mais relevante para o estudo aqui realizado.

Quadro 9: Registo dos resultados com o Sismógrafo (modo de vibração na direção vertical)

Ensaio	Localização	Vão (m)	Frequência (Hz)
Pav. 1 - S1.1	Teto do piso 0	3,71	16,97
Pav. 2 - S1.2	Teto do piso 1	2,60	22,83
Pav. 3 - S1.3	Teto do piso 2	2,09	20,14
Pav. 3 - S2.3	Teto do piso 2	3,32	23,32

Estes valores encontram-se na gama de frequência previsível para este tipo de pavimento, de acordo com Ilharco *et al.* [17], cujos valores obtidos no estudo de pavimentos constituídos por vigas principais de madeira e soalho de madeira devidamente solidarizado com as mesmas. Esses valores encontram-se resumidos no Quadro 10. Os valores obtidos, afastam-

se dos valores da frequência associada às sobrecargas, resultando numa situação de conforto na utilização do pavimento.

Quadro 10: Frequências fundamentais de vibração medidas *in situ* por Ilharco *et al.*

Edifício	Secção das vigas principais (m)	Espaçamento entre vigas (m)	Vão (m)	Frequência na direção vertical (Hz)
Edifício E1	Circular com diâmetro entre 0,16 a 0,18	0,75 a 0,80	4,35	11,0 a 17,0
Edifício E2	Retangular, com secção média de 0,08 x 0,22	0,70	5,20	15,1
Edifício E3	Retangular, com secção média de 0,18 x 0,18	0,70	4,50	13,9
		0,65	4,50	15,5
		0,65	4,50	13,3

Os valores aqui obtidos neste estudo são um pouco superiores aos obtidos por Ilharco *et al.* [17], mas são considerados normais para este tipo de estrutura, que relembre-se, são constituídas por vigas de madeira e soalho de madeira, simplesmente apoiadas nas paredes. É natural que a frequência nestes pavimentos seja um pouco superior, porque, na realidade, existem tarugos (vigas secundárias), revestimento inferior com forro (tabuamento de madeira), entre outros elementos constituintes da estrutura do pavimento, que fazem aumentar a rigidez do pavimento [18]. A este facto acresce que, em geral, o vão dos pavimentos é menor.

Nas situações em que a frequência própria da estrutura, é superior aos valores mencionados acima, não há desconforto. Só há problemas de conforto nas situações em que a frequência própria da estrutura se aproxima da frequência do caminhar humano, aproximadamente 2 Hz, que está muito abaixo dos medidos neste estudo, se a frequência do pavimento estivesse próxima desse valor, ia se sentir uma vibração muito alta ao caminhar, o pavimento seria muito flexível [49, 50]. Estes valores estão demonstrados no Quadro 11.

Quadro 11: Frequência de passos durante a caminhada (adaptado de [50])

Autor	Frequência
Leonard (1966)	1,7 a 2,3 Hz
Matsumoto <i>et al.</i> (1972)	1,99 Hz e desvio padrão de 0,173 (505 pessoas)
Bachmann <i>et al.</i> (1987)	1,6 a 2,4 Hz
Kerr e Bishop (2001)	Média de 1,9 Hz (40 pessoas)
Zivanovic <i>et al.</i> (2007)	1,87 Hz e desvio padrão de 0,186 Hz (939 pessoas)

A seguir, apresentar-se-ão as Figuras 88 a 91, dos ensaios realizados com o sismógrafo (GeoSIG GSR-18bit), com os respetivos resultados, associados ao primeiro modo de vibração

na direção longitudinal, transversal e vertical, acompanhados das imagens da localização dos pavimentos ensaiados. No Apêndice C é possível identificar o local de cada ensaio.



Figura 88: S1.1 – Pavimento do Piso 1

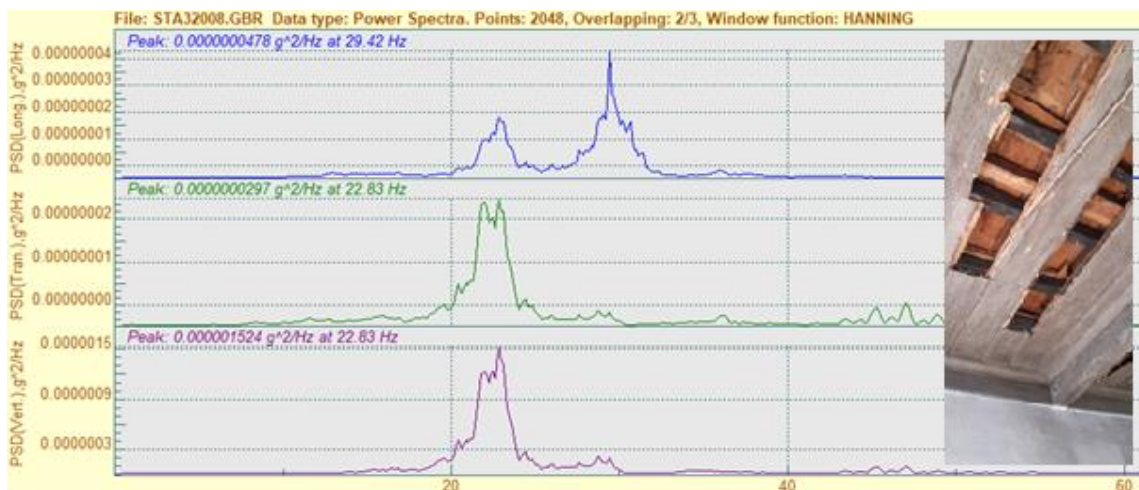


Figura 89: S1.2 – Pavimento do Piso 2

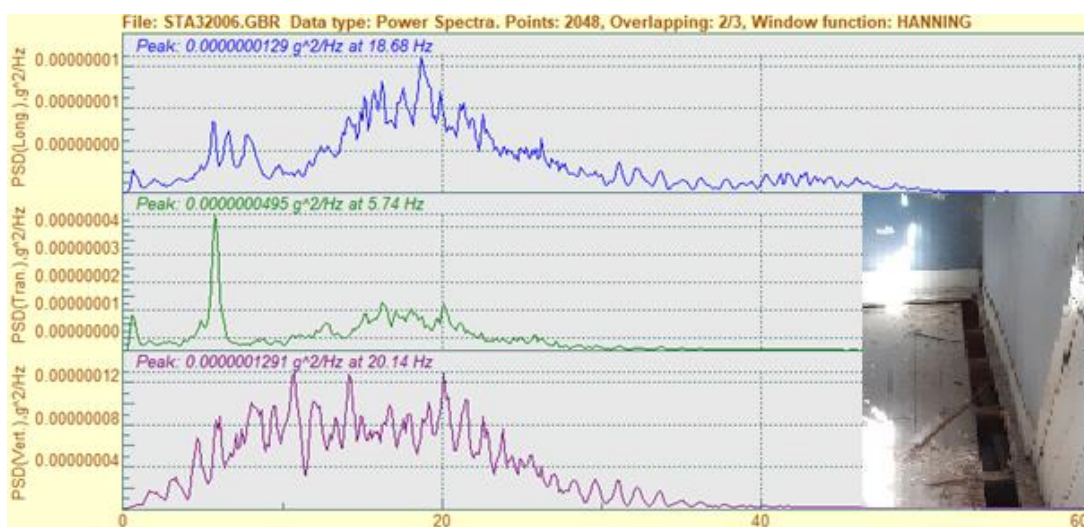


Figura 90: S1.3 – Pavimento do Piso 3

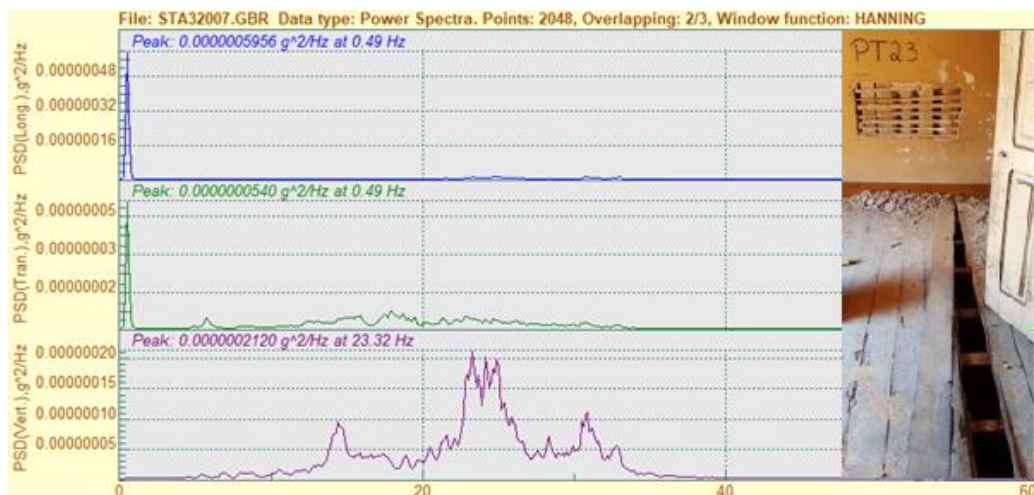


Figura 91: S2.3 – Pavimento do Piso 3

5.1.2 Ensaio com Resistograph®

De acordo com o exposto na secção 4.3.2, foram escolhidas vigas dos pavimentos para se realizarem os ensaios com o Resistograph®, com o objetivo de aferir a seção efetiva das mesmas. É um dado importante para a calibração da área real da seção resistente desses mesmos pavimentos. Com efeito, é um dado necessário para o cálculo teórico da frequência de vibração.

A sondagem com o Resistograph® nos pavimentos foi efetuada, quer na face superior do elemento, quer na face inferior, mediante o possível acesso às vigas dos pavimentos.

No Quadro 12 apresentam-se os valores obtidos nos 3 pavimentos, sendo que no pavimento 3 foram realizados 2 ensaios. São referidas as dimensões das vigas ensaiadas bem como o valor médio da ordenada do gráfico, designada de “valor de Resistograph®”.

Quadro 12: Dimensões das vigas e resultados do Resistograph®

Pavimento	Localização	Dimensões – b x h (cm)	Valor médio
Pav. 1	R. PAV.1.1	11,0 x 13,0	149
Pav. 2	R. PAV.1.2	10,0 x 20,0	203
Pav. 3	R. PAV.2.3	7,5 x 18,0	183
	R. PAV.3.3	7,5 x 18,0	229

Ainda na presente secção serão apresentados gráficos dos ensaios efetuados com o Resistograph®, nas vigas que fazem parte dos pavimentos, onde foram feitos os ensaios de vibração ambiental com o sismógrafo, assim como, as características dos elementos ensaiados (tipo de elemento e respetiva dimensão). Em complemento, para cada uma das sondagens, é apresentado um comentário acerca do nível de deterioração patenteado pelo elemento de madeira, acompanhado de uma fotografia deste mesmo elemento.

A seguir, apresentar-se-ão nas Figuras 92 a 95, resultados do ensaio, respetivamente com as imagens da localização do ensaio. No Apêndice C é possível identificar o local de cada ensaio.

A Figura 92, ilustra que a sondagem com o Resistograph® no Pav. 1 - R.PAV. 1.1, foi efetuada na face superior do elemento, atingindo um comprimento de 140 mm, verifica-se que o elemento possui grande heterogeneidade em profundidade, com uma acentuada variação nos primeiros 50mm do elemento, que indica o estado de degradação avançado, observado visualmente.

A Figura 93, ilustra que a sondagem com o Resistograph® foi efetuada na face inferior da viga principal, atingindo um comprimento de 200 mm, ilustra, ainda, que o elemento possui alguma heterogeneidade em profundidade, com ligeiro estado de degradação em ambas as faces, ainda que, visualmente, não se observem sinais de deterioração.

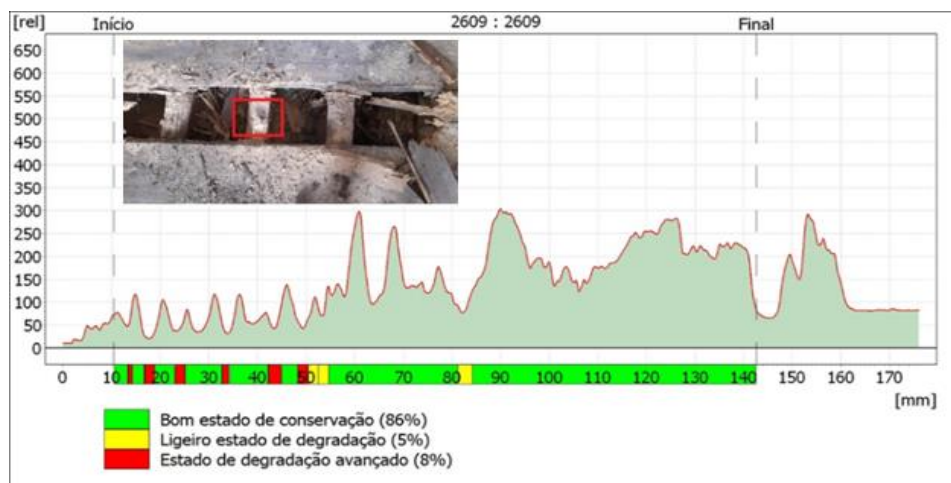


Figura 92: Pav. 1 - R.PAV.1.1 (b=11cm; h=13cm) - Valor médio = 149



Figura 93: Pav.2 - R.PAV.1.2 (b=10cm; h=20cm) - Valor médio = 203

A Figura 94, ilustra que a sondagem com o Resistograph® foi efetuada na face superior do elemento, atingindo um comprimento de 170 mm, também demonstra que o elemento é homogêneo em profundidade, com estado avançado de deterioração na face inferior do elemento, que visualmente não se observou.



Figura 94: Pav.3 – R.PAV.2.3 (b=7,5cm; h=18cm) – viga do piso 3- Valor médio = 183

A Figura 95, ilustra que a sondagem com o Resistograph® foi efetuada na face superior do elemento, atingindo um comprimento de 180 mm. O gráfico mostra que o elemento possui alguma heterogeneidade em profundidade, com ligeiro estado de degradação na face superior do elemento nos primeiros 20mm, ainda que, visualmente observam-se alguns sinais de deterioração avançada em todo elemento.



Figura 95: Pav.3 – R.PAV.3.3 (b=7,5cm; h=18cm) - Valor médio = 229

Em quase todos os elementos, constata-se alguma homogeneidade de valores (estado de conservação). Com efeito, os picos nos gráficos das 4 vigas correspondem à penetração da agulha nas fibras (situadas na direção perpendicular), nomeadamente nos anéis de Primavera e de Outono. No início e no final da secção, verificam-se valores de resistência à penetração menores, o que corresponde a alguma degradação superficial. Este facto será tido em consideração na determinação da secção efetiva da viga. No ensaio do Pav. 1 - R.PAV. 1.1 observa-se uma degradação inicial da viga. Considera-se normal devido à sua localização e condição climática (junto ao solo, sem luz solar e com maior humidade). O comprimento de sondagem (perfuração), em quase todos os casos, atingiu a distância face a face do elemento ensaiado (na direção da perfuração).

No Apêndice C é possível identificar o local de cada ensaio e no Apêndice E podem ser consultados os resultados.

5.1.3 Resultado das medições com o humidímetro

Como referido no Capítulo 4 (secção 4.3.3.3) os ensaios de teor de humidade nos pavimentos (humidímetro) foram efetuados nas mesmas vigas onde se executaram os ensaios com o Resistograph®, podendo ver-se a sua localização na Figura 96, para o piso 3, por ter sido o pavimento onde se registaram os valores mais elevados.

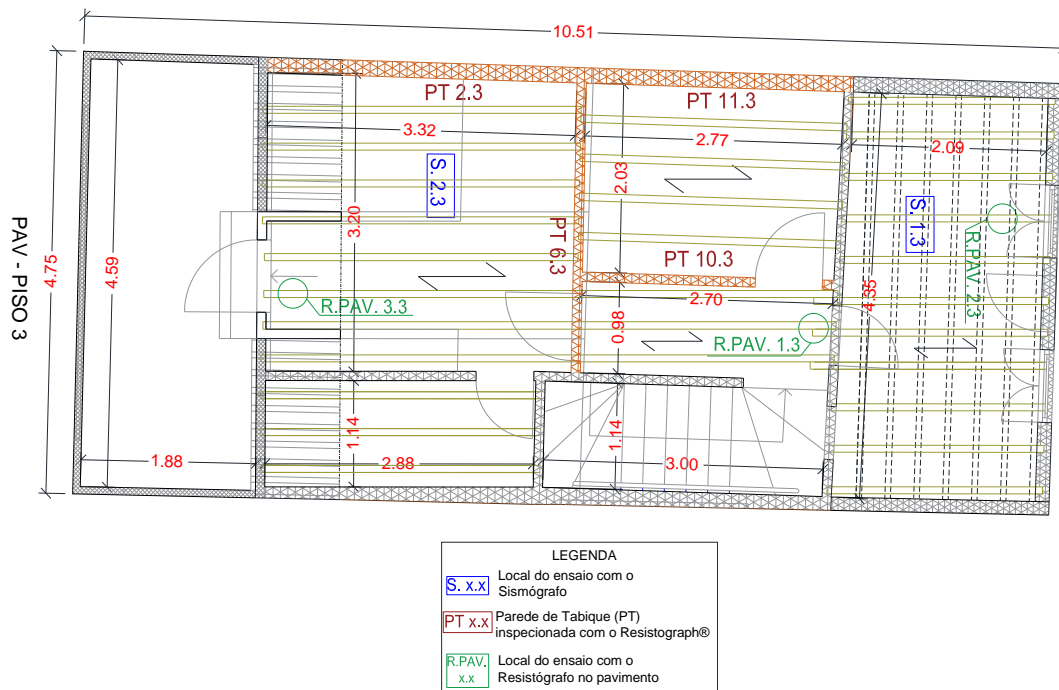


Figura 96: Planta de localização dos ensaios com o Resistograph® no piso 3

No Quadro 13, temos os resultados das medições obtidas com o humidímetro em algumas vigas de madeira dos pavimentos. Pode-se observar que o ensaio realizado na viga R_PAV. 3.3 tem o valor mais alto, que se justifica por estar exposta junto ao alçado principal no piso 3, localizada no encontro do pavimento com o vão da porta desprotegido (Figura 97). As demais vigas apresentam valores semelhantes, porque estão localizadas em zonas mais protegidas do edifício. No Apêndice C é possível identificar a localização dos ensaios nos restantes pisos.

Quadro 13: Medições com o humidímetro nas vigas de madeira dos pavimentos

Piso	Localização	Secção b x h (cm)	Humidímetro
1	R_PAV 1.1.	11,0 x 13	17,5
2	R_PAV 1.2	10,0 x 20	15,5
3	R_PAV 1.3	7,5 x 18	17,4
	R_PAV 2.3	7,5 x 18	17,3
	R_PAV 3.3	7,5 x 18	29,8



Figura 97: Vigas com maior valor de humidímetro – R_PAV 3.3

5.1.4 Análise dos resultados dos ensaios de vibração ambiental

Nesta secção far-se-á a análise dos resultados dos ensaios de vibração ambiental, comparando-os com os valores obtidos da frequência teórica dos 3 pavimentos do edifício e com os resultados do ensaio com o Resistograph®.

5.1.4.1 Cálculo da frequência teórica

Para se estimar analiticamente os valores das frequências dos pavimentos ensaiados é necessário quantificar as ações permanentes atuantes, definir as secções dos pavimentos e caracterizar as propriedades da madeira. Observou-se que todos os elementos constituintes dos pavimentos do edifício são da mesma madeira, representando-se no Quadro 14 os valores do módulo de elasticidade e da massa volumétrica, para a classe C18 (Espécies coníferas) de acordo com a NP EN 338 [51].

Os cálculos foram obtidos de acordo com o Eurocódigo 5 [52], através do procedimento utilizado na identificação dinâmica dos pavimentos utilizado pelo NCREP [53], baseado no artigo intitulado “Caracterização de pavimentos antigos de madeira” [18]. Para o cálculo da frequência utilizou-se as Equações 2 e 3 [52].

Quadro 14: Propriedades mecânicas da madeira maciça [51]

Espécie Conífera	Módulo de elasticidade – E_{mean} (GPa)	Massa volumétrica- ρ_{mean} (Kg/m ³)
C18	9	380

Para um pavimento retangular apoiado em dois apoios, a frequência fundamental f pode ser calculada usando a Equação 2:

$$f = \left(\frac{\pi}{2 \times L^2} \right) \times \sqrt{\frac{EI_l}{m}} \quad (2)$$

Em que:

L - vão do pavimento (em m);

m - massa por unidade de área (em Kg/m²);

EI_l - rigidez equivalente de flexão (em N.m²/m).

A rigidez equivalente de flexão, EI_l , é calculada através da equação 3, assumindo o valor médio do módulo de elasticidade, indicado no Quadro 14, e as características geométricas médias das vigas que compõem os referidos pavimentos.

$$EI_l = \left(E_{mean} \times \frac{I_l}{s} \right) \quad (3)$$

Em que:

E_{mean} – valor médio do módulo de elasticidade (em GPa);

I_l – momento de inércia da secção das vigas (em m⁴);

s – espaçamento entre vigas, medido entre eixos (em m).

Nas Figuras 98, 99, 100 e 101 ilustram-se as secções médias utilizadas nos cálculos dos valores da frequência teórica dos 3 pavimentos do edifício.

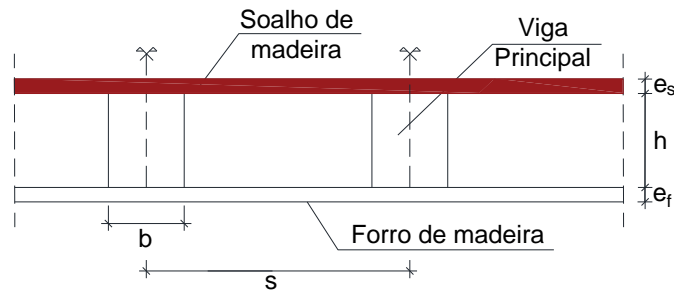


Figura 98: Secção média dos elementos de madeira que compõem o pavimento 1 (Pav. 1 – S1.1)

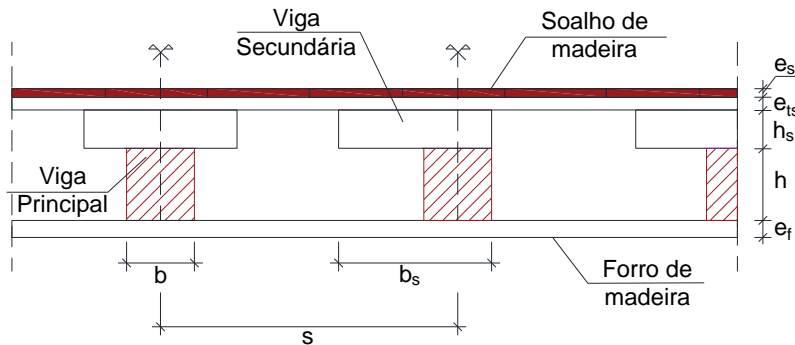


Figura 99: Secção média dos elementos de madeira que compõem o pavimento 2 (Pav. 2 – S1.2)

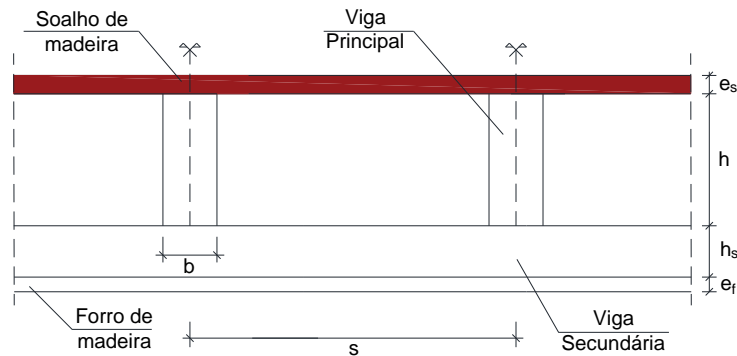


Figura 100: Secção média dos elementos de madeira que compõem parte do pavimento 3 (Pav. 3 – S1.3)

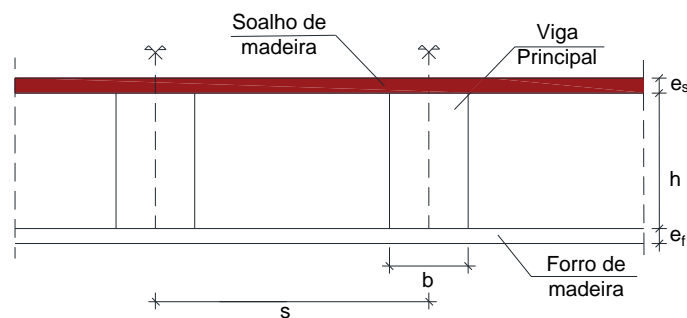


Figura 101: Secção média dos elementos de madeira que compõem parte do pavimento 3 (Pav. 3 – S2.3)

No Quadro 15 apresentam-se as dimensões médias dos elementos de madeira que compõem essas secções e no Quadro 16 resumem-se os valores das ações permanentes utilizados no cálculo.

Quadro 15: Características geométricas médias das secções dos elementos de madeira dos pavimentos

Pavimento	Características geométricas médias (m)										
	Vigas Principais					Soalho	Tabuado Superior	Forro	Vigas Secundárias		
	b	h	h'	s	L	e _s	e _{ts}	e _f	b _s	h _s	s
Pav. 1 – S1.1	0,110	0,130	0,085	0,370	3,71	0,025	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000
Pav. 2 – S1.2	0,080	0,080	0,080	0,350	2,60	0,015	0,020	0,020	0,180	0,045	0,350
Pav. 3 – S1.3	0,075	0,180	0,155	0,445	2,09	0,025	0,000	0,020	0,060	0,070	0,310
Pav. 3 – S2.3	0,075	0,180	0,170	0,390	3,32	0,025	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000

Nota: h' representa a altura da viga principal desprezando a área degradada.

Quadro 16: Valores das ações permanentes utilizados no cálculo das frequências

Ações	Pav. 1 – S1.1	Pav. 2 – S1.2	Pav. 3 – S1.3	Pav. 3 – S2.3
Peso Próprio da Viga Principal (kN/m)	0,054	0,024	0,051	0,051
Peso Próprio do Soalho (kN/m)	0,035	0,020	0,042	0,037
Peso Próprio do Tabuado Superior (kN/m)	0,000	0,027	0,000	0,000
Peso Próprio das Vigas Secundárias (kN/m)	0,000	0,031	0,024	0,000
Peso Próprio do Forro (kN/m)	0,028	0,027	0,034	0,030
Total (kN/m)	0,118	0,128	0,151	0,118

No cálculo das frequências teóricas dos pavimentos foram consideradas 4 hipóteses: na primeira hipótese considerou-se a secção total das vigas principais; na segunda hipótese considerou-se a secção das vigas principais, desprezando a área degradada, medida com o Resistograph®; na terceira hipótese considerou-se a secção das vigas principais com a contribuição do soalho (secção em T); e, finalmente, na quarta hipótese considerou-se a secção das vigas principais com a contribuição do soalho (secção em T), desprezando a área degradada das vigas, medida com o Resistograph®. Na Figura 102 representam-se esquematicamente, as 4 hipóteses consideradas, com as devidas adaptações às secções médias dos pavimentos.

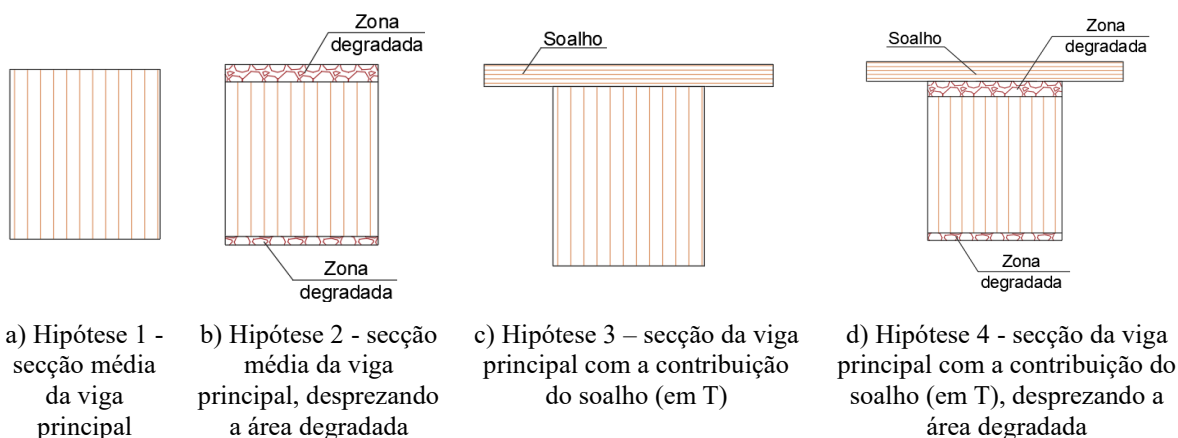


Figura 102: Esquema, em corte, das 4 hipóteses consideradas no cálculo das frequências dos 3 pavimentos

Nos Quadros 17, 18, 19 e 20, apresentam-se os resultados obtidos nos cálculos das frequências teóricas para as 4 hipóteses consideradas.

Quadro 17: Cálculo da frequência teórica para a 1.^a hipótese

Pavimento	L (m)	EI ₁ (Nm ² /m)	Massa (kg/m ²)	Frequência Teórica – f (Hz)
Pav. 1 – S1.1	3,71	489871,622	32,51	14,01
Pav. 2 – S1.2	2,60	87771,429	37,28	11,27
Pav. 3 – S1.3	2,09	737191,011	43,98	46,56
Pav. 3 – S2.3	3,32	841153,846	30,84	23,53

Quadro 18: Cálculo da frequência teórica para a 2.^a hipótese

Pavimento	L (m)	EI ₁ (Nm ² /m)	Massa (kg/m ²)	Frequência Teórica – f (Hz)
Pav. 1 – S1.1	3,71	136933,28	32,51	7,41
Pav. 2 – S1.2	2,60	-	37,28	-
Pav. 3 – S1.3	2,09	470714,54	43,98	37,20
Pav. 3 – S2.3	3,32	708605,77	30,84	21,60

Quadro 19: Cálculo da frequência teórica para a 3.^a hipótese

Pavimento	L (m)	EI ₁ (Nm ² /m)	Massa (kg/m ²)	Frequência Teórica – f (Hz)
Pav. 1 – S1.1	3,71	1322189,496	32,51	23,02
Pav. 2 – S1.2	2,60	1256640,69	37,28	42,66
Pav. 3 – S1.3	2,09	1950406,057	43,98	75,73
Pav. 3 – S2.3	3,32	2333235,827	30,84	39,20

Quadro 20: Cálculo da frequência teórica para a 4.^a hipótese

Pavimento	L (m)	EI ₁ (Nm ² /m)	Massa (kg/m ²)	Frequência Teórica – f (Hz)
Pav. 1 – S1.1	3,71	490794,164	32,51	14,02
Pav. 2 – S1.2	2,60	1256640,694	37,28	-
Pav. 3 – S1.3	2,09	1137460,323	43,98	57,83
Pav. 3 – S2.3	3,32	1183197,247	30,84	27,91

Saliente-se que no caso do Pav. 2 – S1.2, para a 2.^a e 4.^a hipótese, não existem resultados porque se verificou que a viga principal não apresentava degradação.

5.1.4.2 Análise dos resultados das frequências

No Quadro 21 apresentam-se os resultados obtidos experimentalmente e os obtidos nas 4 hipóteses consideradas na obtenção das frequências teóricas para os 3 pisos, em 4 pavimentos distintos.

Quadro 21: Quadro resumo comparativo entre as frequências experimentais e teóricas

Pavimento	Frequência (Hz)				
	Experimental	1. ^a Hipótese	2. ^a Hipótese	3. ^a Hipótese	4. ^a Hipótese
Pav. 1 - S1.1	16,97	14,01	7,41	23,02	14,02
Pav. 2 - S1.2	22,83	11,27	-	42,66	-
Pav. 3 - S1.3	20,14	46,56	37,20	75,73	57,83
Pav. 3 - S2.3	23,32	23,53	21,60	39,20	27,91

De uma forma geral, os valores obtidos no cálculo das frequências teóricas são consistentes com as 4 hipóteses estudadas, isto é, a frequência aumenta com a maior rigidez da secção. Observa-se que as frequências obtidas *in situ* são normalmente superiores às obtidas pela utilização da Equação 2.

Relativamente aos valores da frequência teórica obtidos nas diversas hipóteses para os pavimentos Pav. 1 - S1.1, Pav. 2 - S1.2, Pav. 3 - S2.3, eles são os esperados. O cálculo analítico representa o valor da frequência para o modelo de uma viga simplesmente apoiada. Na 1.^a hipótese, o valor obtido para a frequência é mais baixo porque, eventualmente, a rigidez real do sistema é maior. Com efeito, as vigas possuem tarugos, bem como o próprio soalho, pregados às vigas, o que confere uma rigidez superior ao pavimento. Por outro lado, as próprias ligações ao exterior (apoios), possivelmente, não correspondem a apoios simples (articulações).

No caso particular do ensaio Pav. 3 - S1.3, os valores teóricos obtidos na 1.^a hipótese são muito superiores (mais do dobro) quando comparados com o valor experimental. Como esta frequência está dentro dos valores obtidos para os outros pavimentos, crê-se que existe alguma falha na parte da inspeção (por exemplo, a consideração de um vão efetivo que não é o real ou uma secção errada), que condiciona todo o cálculo subsequente.

Na análise aos resultados obtidos na 3.^a hipótese (contribuição do soalho) observa-se que eles são consideravelmente superiores o que leva a concluir-se que efetivamente a ligação entre o soalho e a viga principal não é eficaz.

Quando se comparam os valores obtidos na 1.^a e na 3.^a hipótese verifica-se que a frequência sofre um aumento médio consistente na ordem de 1,65 vezes, com exceção do pavimento 2 cujo aumento é 3,78 vezes. Este facto está relacionado com o tipo de pavimento em causa, conforme se pode constatar na Figura 99. Com efeito, trata-se de um pavimento complexo. Pensa-se que se trata de uma área que foi intervencionada, por alguma razão que se desconhece, em que o pavimento tem um conjunto de vigas (principais) de secção quadrada,

em que por cima e na mesma direção foram colocadas vigas ao baixo (largura superior à altura) com espaçamentos variáveis (uns sobre as vigas principais e outros não). Sobre estas foi colocado um tabuado de madeira maciça e por cima deste o soalho. Este facto justifica o aumento muito superior ao observado nos outros pavimentos.

5.1.4.3 Efeito da degradação na madeira nos resultados das frequências

Um aspeto que se procurou analisar foi o cruzamento das informações, que correlacionam os resultados obtidos através dos ensaios de vibração ambiental (sismógrafo) e de resistência à penetração (Resistograph®), resumidos no Quadro 22. Pretende-se avaliar se se pode estabelecer uma relação entre os dois valores. Note-se que o “valor de Resistograph®” não traduz a resistência à penetração da agulha, mas sim o valor da energia despendida nessa mesma penetração.

Quadro 22: Comparação entre os valores de Resistograph® e a frequência experimental

Pavimento	Resistograph® (valor médio)	Frequência Experimental (Hz)
Pav. 1 - S1.1	149	16,97
Pav. 2 - S1.2	203	22,83
Pav. 3 - S1.3	183	20,14
Pav. 3 - S2.3	229	23,32

Observou-se que existe uma proporcionalidade entre os dois resultados, isto é, o pavimento que tem a menor frequência, também tem o menor “valor de Resistograph®”, o que leva a concluir que a perda de resistência de um elemento de madeira, contribui para uma menor rigidez de um pavimento.

5.2 Ensaios nas Paredes de Tabique

5.2.1 Ensaio com Resistograph®

Como referido na secção 4.3.2, executou-se o ensaio com Resistograph® em 12 paredes de tabique do edifício, 2 paredes do piso 1, 6 paredes do piso 2 e 4 paredes do piso 3. No Quadro 23 apresentam-se o “valor de Resistograph®” médios, assim como a identificação de todas as paredes de tabique ensaiadas e as espessuras das respetivas tábuas. No Apêndice C é possível consultar a localização da execução de cada ensaio, nas plantas dos pisos 1, 2 e 3 respetivamente.

Quadro 23: Resultados com o Resistograph® nas Paredes de Tabique

Pavimento	Identificação	Espessura das tábuas (cm)	Valor médio
Piso 1	PT 5.1	4,54	157
	PT 8.1	4,10	224
Piso 2	PT 3.2	3,36	82
	PT 4.2	3,99	200
	PT 5.2	4,33	151
	PT 8.2	4,73	182
	PT 10.2	4,25	170
	PT 11.2	4,20	172
Piso 3	PT 2.3	4,34	180
	PT 6.3	3,45	219
	PT 10.3	3,00	237
	PT 11.3	4,20	171

Nas Figuras 103, 104 e 105, ilustram-se os gráficos dos resultados dos ensaios realizados com o Resistograph® nas paredes de tabique PT 8.1, PT 5.2 e PT 6.3, acompanhadas das imagens da localização dessas paredes. Optou-se por apresentar apenas os resultados de três paredes, duas interiores e uma exterior, localizadas em cada um dos pisos. Os demais gráficos dos resultados dos ensaios nas paredes com o Resistograph® encontram-se no Apêndice F.

A sondagem na PT 8.1 (ver Figura 103) foi efetuada na face lateral da parede de tabique, localizada no interior do edifício, a meia-altura entre o piso 1 e o piso 2. O gráfico mostra alguma homogeneidade ao longo do seu desenvolvimento transversal, com alguns picos abruptos que podem ser decorrentes de anéis (primavera e outono) da madeira (*Pinus pinaster*). Observou-se, no local, um bom estado do elemento, o que confirma este resultado.

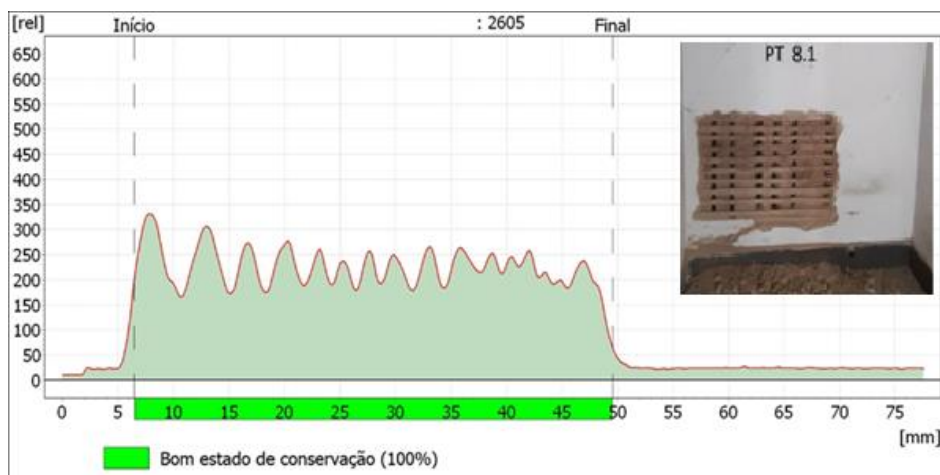


Figura 103: PT 8.1 (e = 4,10 cm) - Parede de tabique entre piso 1 e piso 2 - Valor médio = 224

A sondagem na PT 5.2 (ver Figura 104) foi efetuada na face lateral da parede de tabique exterior, contígua ao edifício vizinho, a meia-altura entre o piso 2 e piso 3. O gráfico mostra mais heterogeneidade, ao longo do seu desenvolvimento transversal, neste elemento do que nos elementos das outras duas paredes (PT 8.1 e PT 6.3), denotando um ligeiro estado de degradação na secção final do elemento. Observou-se, no local, um bom estado do elemento.

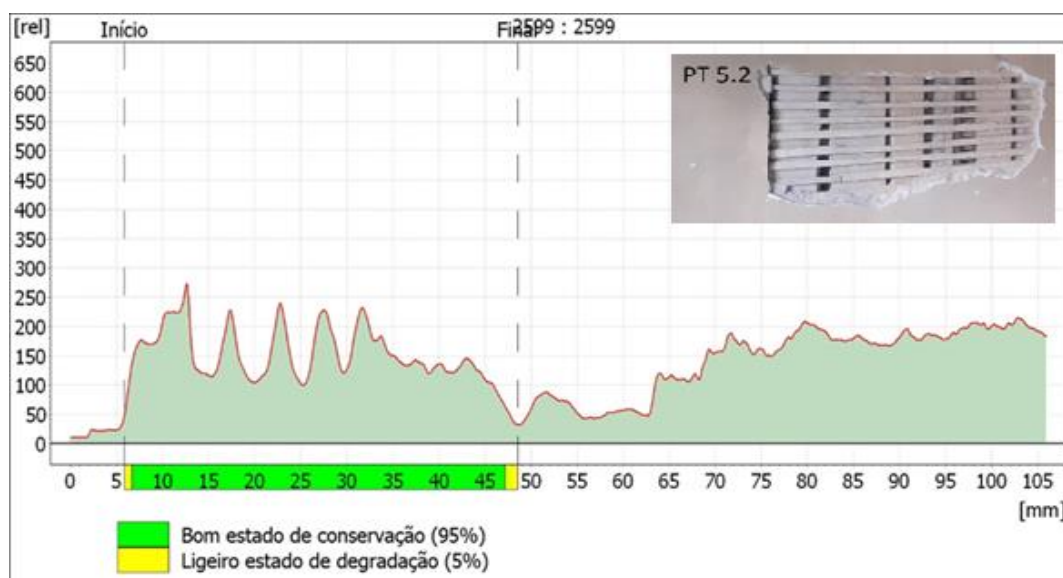


Figura 104: PT 5.2 (e = 4,33 cm) - Parede de tabique entre piso 1 e piso 2 - Valor médio = 151

A sondagem na PT 6.3 (ver Figura 105) foi efetuada na face lateral da parede de tabique, localizada no interior do edifício, a meia-altura entre o piso 3 e a cobertura. O gráfico apresenta uma evolução idêntica ao da parede PT 8.1, denotando um ligeiro estado de degradação na secção final do elemento e homogeneidade ao longo do seu desenvolvimento transversal. Observou-se, no local, um bom estado do elemento, o que confirma este resultado.

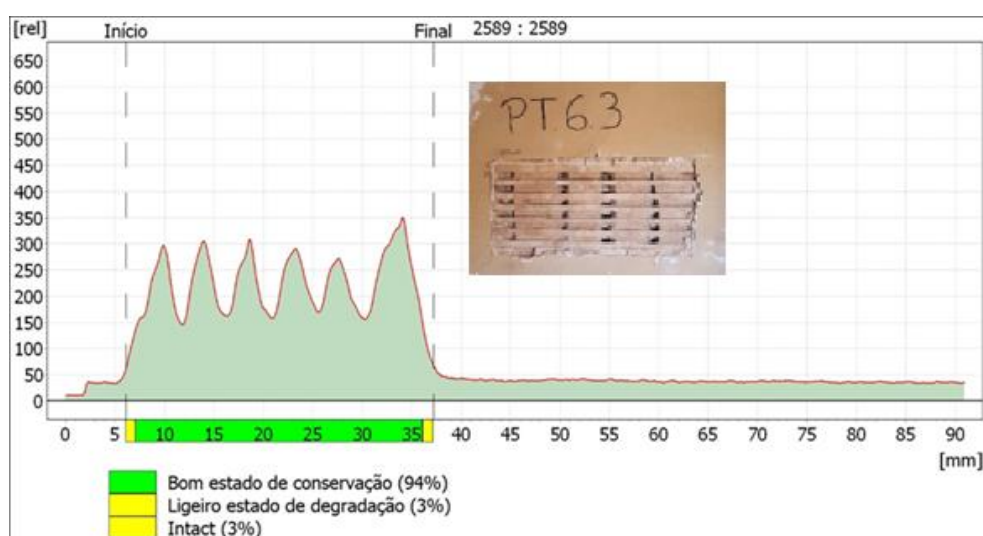


Figura 105: PT 6.3 (e = 3,45 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3 - Valor médio = 219

5.2.2 Ensaio do teor de água e do humidímetro nas argamassas

Para a avaliação do teor de água das argamassas de revestimento foram retiradas amostras das paredes de tabique PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3, como mencionado no Capítulo 4. Essas amostras foram recolhidas em 3 zonas distintas dos painéis criados com 2,0 m de altura por 0,50 m de largura (ver Figura 106). Nos Quadros 24, 25 e 26 apresentam-se os valores obtidos da pesagem das amostras de argamassa retiradas, antes e depois da secagem, e do valor do teor de água obtido.

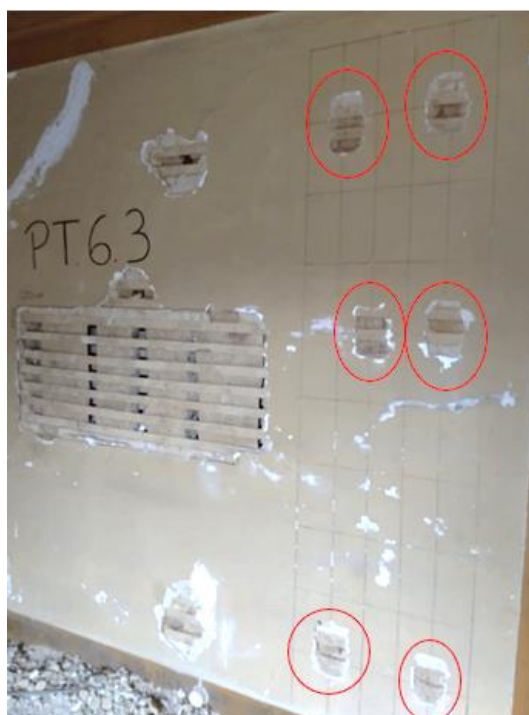


Figura 106: PT 6.3 com a localização das amostras de argamassas recolhidas (a vermelho)

Quadro 24: Valores obtidos do teor de água na argamassa da PT 9.1

Região da Parede	Peso (g)					Teor de Água (%)
	Recipiente Vazio	Recipiente e Amostra Húmida	Amostra Húmida	Recipiente e Amostra Seca	Amostra Seca	
Inferior 1	16,0178	86,1019	70,0841	85,0000	68,9822	1,60
Inferior 2	11,1293	68,2477	57,1184	67,3608	56,2315	1,58
Inferior 3	16,1056	85,6531	69,5475	84,5800	68,4744	1,57
Intermédio 1	10,8573	80,0433	69,1860	78,9953	68,1380	1,54
Intermédio 2	10,9092	68,5887	57,6795	67,7564	56,8472	1,46
Intermédio 3	10,9119	74,7242	63,8123	73,8836	62,9717	1,33
Superior 1	13,2626	67,1826	53,9200	65,5191	52,2565	3,18
Superior 2	10,8534	76,1288	65,2754	73,9521	63,0987	3,45
Superior 3	10,9131	60,6919	49,7788	58,7987	47,8856	3,95

Quadro 25: Valores obtidos do teor de água na argamassa da PT 5.2

Região da Parede	Peso (g)					Teor de Água (%)
	Recipiente Vazio	Recipiente e Amostra Húmida	Amostra Húmida	Recipiente e Amostra Seca	Amostra Seca	
Inferior 1	10,8942	62,9991	52,1049	62,3454	51,4512	1,27
Inferior 2	10,8633	57,3141	46,4508	56,7247	45,8614	1,29
Inferior 3	13,2908	65,1233	51,8325	64,3454	51,0546	1,52
Intermédio 1	16,3352	81,2443	64,9091	80,4472	64,112	1,24
Intermédio 2	15,792	80,9644	65,1724	80,1594	64,3674	1,25
Intermédio 3	16,2952	86,6876	70,3924	85,8926	69,5974	1,14
Superior 1	10,8588	64,2583	53,3995	63,6863	52,8275	1,08
Superior 2	15,6947	73,5766	57,8819	72,9561	57,2614	1,08
Superior 3	16,2517	46,487	30,2353	46,1885	29,9368	1,00

Quadro 26: Valores obtidos do teor de água na argamassa da PT 6.3

Região da Parede	Peso (g)					Teor de Água (%)
	Recipiente Vazio	Recipiente e Amostra Húmida	Amostra Húmida	Recipiente e Amostra Seca	Amostra Seca	
Inferior 1	10,902	77,6551	66,7531	76,3490	65,4470	2,00
Inferior 2	10,8358	54,108	43,2722	53,1892	42,3534	2,17
Inferior 3	10,8436	58,5404	47,6968	57,4990	46,6554	2,23
Intermédio 1	10,9823	68,0691	57,0868	67,2095	56,2272	1,53
Intermédio 2	11,1276	60,6061	49,4785	59,6476	48,5200	1,98
Intermédio 3	10,891	66,7227	55,8317	65,6476	54,7566	1,96
Superior 1	16,3036	81,2785	64,9749	79,8652	63,5616	2,22
Superior 2	10,83	78,3147	67,4847	76,7039	65,8739	2,45
Superior 3	11,0053	65,425	54,4197	64,2050	53,1997	2,29

Os valores de teor de água registados nas diversas paredes apresentam uma grandeza que é comum para este tipo de material (< 6,0%), como se pode observar no gráfico representado na Figura 107 [54]. Na parede PT 9.1 foi onde se registaram valores mais elevados de teor de água (3,18% a 3,95%), localizados na zona superior da parede. Os valores registados na zona intermédia e inferior dessa parede do piso 1 são muito semelhantes aos registados na parede PT 5.2, do piso 2, apesar desta parede ser exterior e contígua ao edifício vizinho. Na parede PT 6.3 registaram-se valores ligeiramente superiores aos da parede do piso 2, nomeadamente nas zonas inferior e superior, que variaram entre os 2,00% e os 2,45%. Todos os valores registados correspondem a um teor de humidade de equilíbrio, situação habitual para uma humidade relativa do ar no interior do edifício entre os 50% e os 80%, como se comprova na Figura 107 para as argamassas.

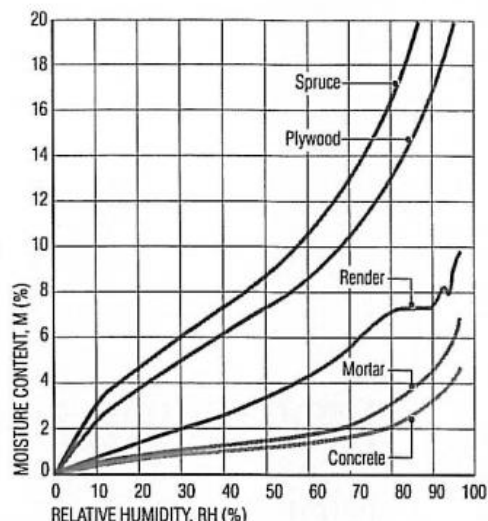


Figura 107: Isotérmicas de absorção de umidade na argamassa e em outros materiais (segundo Straube [55])

Com o objetivo de se avaliar a distribuição do teor de umidade na superfície da argamassa de revestimento das paredes de tabique, foram efetuadas medições com o humidímetro Protimeter Surveymaster SM®, numa grelha de pontos pertencentes aos painéis definidos em cada parede (2,0 m de altura por 0,50 m de largura). A grelha desse painel é dividida a cada 0,20 m na vertical e a cada 0,10 m na horizontal. Em cada quadrícula da grelha foi efetuada 1 medição. No total foram efetuadas cinquenta medições por parede. No Quadro 27 apresentam-se os resultados destas medições, em que as primeiras linhas de valores correspondem à parte superior da grelha.

Quadro 27: Medições com o humidímetro na superfície da argamassa de revestimento das PT

Valor do Humidímetro														
PT 9.1					PT 5.2					PT 6.3				
21,0	22,4	21,6	22,0	20,2	19,2	18,5	17,9	2,1	19,0	12,9	13,3	13,9	13,9	14,0
19,0	20,5	20,4	20,9	20,9	19,8	17,4	19,3	19,7	19,6	13,8	13,1	13,8	14,0	13,2
19,9	20,9	20,3	19,0	19,9	19,2	17,1	17,7	19,1	19,0	13,5	13,2	12,6	13,3	13,5
19,9	17,6	18,9	18,7	17,5	18,7	18,5	18,9	19,9	19,7	12,9	13,5	13,3	12,5	13,4
18,2	17,9	18,6	17,2	18,2	19,0	19,6	19,6	19,0	19,4	13,8	13,8	13,3	13,6	14,3
18,9	17,9	17,9	18,6	14,6	17,7	19,0	19,0	19,2	18,0	12,9	14,2	13,0	14,4	13,2
17,5	18,1	17,9	16,9	17,5	19,8	18,9	19,4	19,4	18,8	13,9	12,5	12,8	13,7	14,4
16,3	17,9	18,3	16,6	18,9	18,0	18,5	18,8	18,9	18,5	13,0	12,6	13,3	13,7	15,3
13,1	13,5	13,8	13,7	13,3	18,5	18,5	18,8	18,8	18,3	12,0	12,0	13,3	12,3	14,7
12,8	13,7	13,5	13,5	19,2	20,3	18,0	19,4	18,9	19,7	13,5	13,8	12,7	13,8	14,8

Com base nas medições apresentadas no Quadro 27 foram gerados gráficos através do programa SURFER® (Golden Software, Inc.). Este programa, permitiu a geração de mapas de

variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. Como os pontos estavam homogêneos e regularmente espaçados nos moldes de uma malha de amostragem cotada, através de interpolação e mapeamento das variáveis é possível a obtenção destes gráficos que permitem uma rápida visualização da distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento das paredes em estudo. Os gráficos foram gerados com a colaboração do Laboratório de Reabilitação e Durabilidade das Construções da Universidade Federal do Ceará.

Nas Figuras 108, 109 e 110 apresentam-se os gráficos da distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa das paredes PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3, juntamente com a imagem da localização das respectivas malhas.

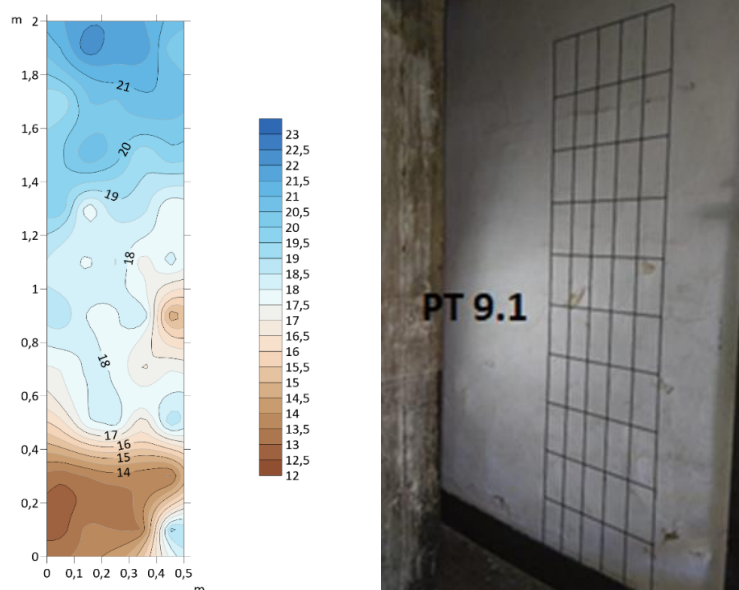


Figura 108: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 9.1

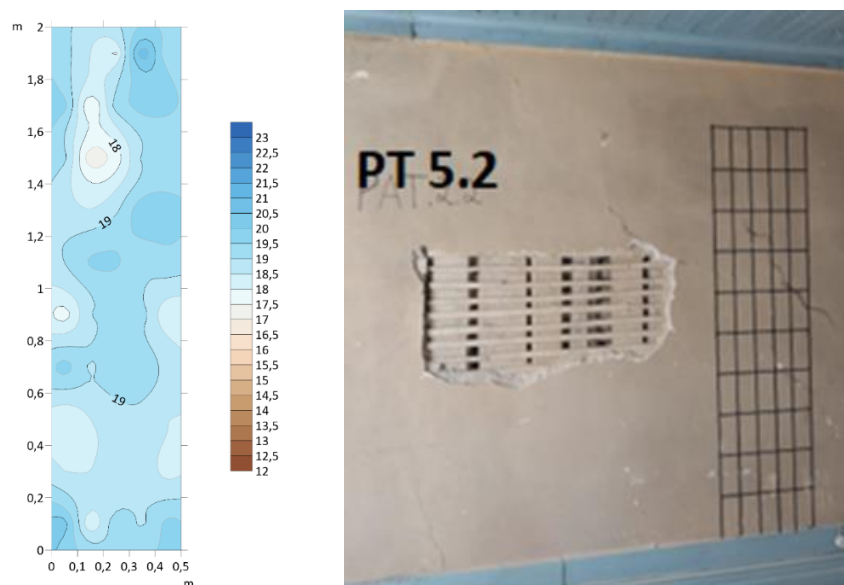


Figura 109: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 5.2

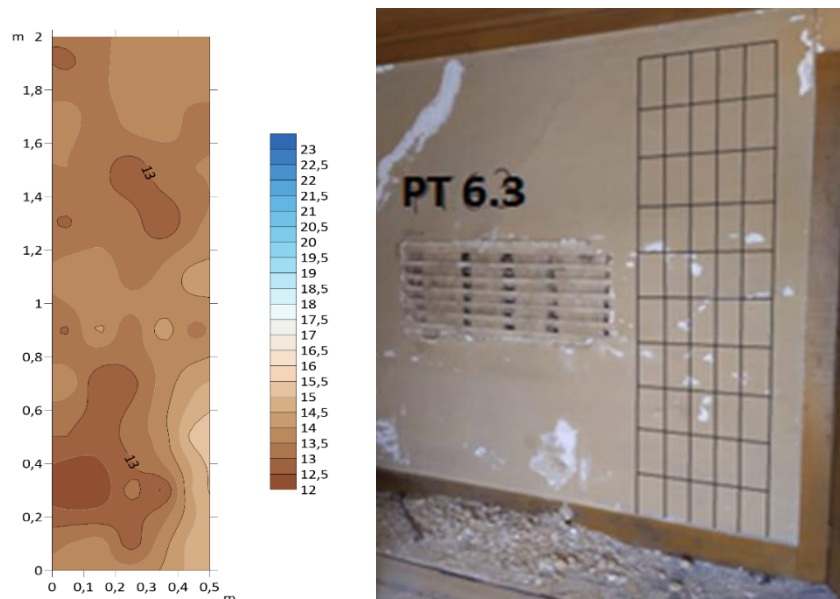


Figura 110: Distribuição dos valores do humidímetro na superfície da argamassa de revestimento da PT 6.3

Da análise das figuras anteriores, verifica-se que as paredes PT 5.2 e PT 6.3 apresentam uma distribuição de valores de humidímetro mais uniforme do que a parede PT 9.1 e que a parede do piso 3 (PT 6.3) é a que apresenta menores valores. Na parede PT 9.1 foi onde se registou uma maior heterogeneidade na distribuição dos valores do humidímetro, com os menores valores na zona inferior e os mais elevados na zona superior. As medições com o humidímetro apresentam uma correspondência com os valores do teor de água obtidos em laboratório em todas as paredes.

5.2.3 Medições com o humidímetro nos elementos de madeira

Por fim foram efetuadas medições com o humidímetro nas tábuas de madeira das mesmas paredes (PT 9.1, PT 5.2 e PT 6.3), nas zonas onde foram removidas as amostras de argamassa de revestimento (ver Figura 106).

As medições foram efetuadas em 2 pontos na parte superior, 2 pontos na parte intermediária e 2 pontos na parte inferior da parede. Em cada ponto foram feitas 3 leituras com o humidímetro. Os valores dessas medições e as correspondentes médias são apresentados no Quadro 28.

Quadro 28: Medições com o humidímetro nas tábuas de madeira das PT

Região da Parede	Valores de Humidímetro nas Tábuas								
	PT 9.1			PT 5.2			PT 6.3		
	Registos		Valor Médio	Registos		Valor Médio	Registos		Valor Médio
Inferior 1	15,1	14,1	14,9	11,0	11,0	11,0	10,7	10,8	10,4
Inferior 2	15,5	14,4		10,8	10,8		10,0	10,5	
Inferior 3	15,3	14,7		10,9	11,5		10,3	10,1	
Intermédio 1	15,6	15,2	15,4	9,9	9,9	10,2	12,1	10,8	10,7
Intermédio 2	15,4	15,0		10,1	10,2		10,7	10,2	
Intermédio 3	15,7	15,2		10,4	10,4		9,7	10,5	
Superior 1	13,6	11,8	12,9	12,0	13,3	12,6	11,9	11,6	11,8
Superior 2	12,8	13,0		12,1	13,0		11,9	11,7	
Superior 3	13,1	12,9		11,9	13,0		11,9	12,0	

Analisando os valores do humidímetro nas tábuas de madeira constata-se que a parede PT 9.1 é a que apresenta maiores valores e que na zona intermédia da parede PT 5.2 se registaram os valores mais baixos. A maior homogeneidade de registos verificou-se na parede PT 6.3. Os registos não seguem um padrão de distribuição idêntico ao longo da altura das paredes. Apenas na parede PT 6.3 os valores de humidímetro cresceram da base para o topo da parede.

Para finalizar, comparando os resultados do humidímetro com os valores obtidos no Resistograph® para os elementos de madeira das paredes PT 5.2 e PT 6.3, observa-se uma coerência nos resultados, uma vez que na parede PT 5.2 se registaram valores superiores de humidímetro neste material e, simultaneamente, valores de Resistograph® mais baixos.

6. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Um dos objetivos deste estudo é contribuir para a compreensão e caracterização do edificado antigo situado no centro histórico de Viseu, que vem sendo desenvolvido no Departamento de Engenharia Civil da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu.

Considera-se que o edifício estudado é representativo da arquitetura vernácula desta região. Com efeito, ele é constituído por paredes de alvenaria de pedra ao nível do r/chão. Nos pisos superiores, elas continuam a existir sendo substituídas em alguns casos por paredes de tabique, dando a entender que existem várias fases construtivas. Observa-se ainda a presença de zonas de paredes exteriores em tijolo maciço. As paredes interiores dos pisos superiores são em tabique. Os pavimentos são realizados em madeira maciça. Trata-se de estruturas constituídas por um conjunto de vigas com espaçamento constante, sobre o qual assenta o soalho. No entanto, observou-se em alguns pavimentos a presença de um vigamento duplo, isto é, a presença de dois níveis de vigas. A estrutura de cobertura também é realizada em madeira maciça.

Os revestimentos utilizados também são os característicos: nas paredes exteriores e interiores utilizou-se argamassa pintada; nos tetos a argamassa pintada foi aplicada sobre um fasquio de madeira; e a cobertura é revestida por telha cerâmica que apoia na sua estrutura.

Os principais materiais utilizados são locais, isto é: as paredes de alvenaria são de granito, a madeira utilizada é *Pinus Pinaster* (Pinho bravo) e a argamassa é terrosa. Todos materiais característicos da região de Viseu.

O edifício encontra-se devoluto há algum tempo. Este facto está em grande parte relacionado com os danos existentes e que foram relatados na presente dissertação.

A fase de inspeção e diagnóstico demonstrou ser fundamental para a compreensão e preparação, bem como para a escolha dos locais e dos ensaios experimentais a realizar. Neste tipo de edifícios, em que os sistemas construtivos são muitas vezes adaptados a situações específicas que não podem ser previstas é necessário realizar uma inspeção o mais detalhada possível para mitigar as dúvidas que possam existir sobre materiais utilizados e o sistema construtivo, por exemplo. Da campanha de inspeção e diagnóstico realizada ao edifício em estudo, foi possível constatar que:

- As principais patologias encontradas no edifício estão relacionadas com a presença de humidade e com a falta de rigidez dos pavimentos de madeira maciça;

- As paredes de tabique (exteriores e interiores) faziam parte da sua estrutura resistente, assumindo um papel relevante no seu comportamento estrutural;
- O vigamento principal dos pavimentos apoia-se diretamente sobre as paredes de tabique;
- A totalidade das paredes de tabique são simples e enquadram-se na tipologia T2S, isto é, com prevalência para a utilização de tábuas costaneiras sem muito cuidado com a sua disposição e espaçamento entre elas;
- Em alguns locais existe a presença de tábuas diagonais, não constituindo, no entanto, um padrão construtivo geral;
- É inexistente o recurso a conetores metálicos em chapa para incrementar a ligação entre as paredes de tabique ortogonais entre si, nem para a ligação entre estas e as paredes de alvenaria. Este facto pode estar relacionado com a presença de alguma fissuração na ligação entre as paredes;
- As dimensões dos seus elementos constituintes são consideradas normais, quando comparadas com a bibliografia existente.

Da campanha de ensaios experimentais *in situ* foi possível concluir que:

- O ensaio de vibração ambiental revelou-se de fácil execução e simples interpretação dos resultados obtidos;
- As frequências obtidas estão dentro dos valores de referência, nos quatro pavimentos ensaiados, pertencentes a 3 pisos distintos (2 ensaios no piso 3), com soluções estruturais diferenciadas, quer a nível da sua constituição, quer ao nível dos vãos efetivos das vigas;
- O cálculo analítico revelou algumas discrepâncias em relação aos valores experimentais, sendo a 1.^a hipótese (secção da viga com as dimensões medidas no local, sem contribuição do soalho) aquela que se aproximou mais dos resultados experimentais (Pav. 1 – S1.1 e Pav. 3 – S2.3);
- A 3.^a hipótese (secção da viga com as dimensões medidas no local, com contribuição do soalho) revelou resultados bastante superiores aos experimentais o que indica que, neste caso, a contribuição do soalho não é relevante;

- O estudo teórico do Pav. 3 - S1.3 revelou valores muito diferentes (maiores) que os experimentais, não reproduzindo a rigidez da solução construtiva existente neste pavimento (vigas principais sobrepostas em vigas secundárias dispostas na direção ortogonal);
- O estudo teórico do Pav. 2 - S1.2 (dois níveis de vigas principais sobrepostas na mesma direção, com tabuado duplo) revelou valores muito diferentes que os experimentais, superiores quando se considerou a contribuição do soalho e inferiores quando essa contribuição não foi tida em conta. A rigidez da solução construtiva existente neste pavimento também não foi bem reproduzida;
- As duas hipóteses teóricas (2.^a e 4.^a), em que se pretendia avaliar se a degradação das vigas, aferida no ensaio com o Resistograph®, tinha influência na rigidez do conjunto, conduziram a resultados diferentes dos obtidos experimentalmente;
- O ensaio com o Resistograph® revelou-se de fácil execução e os resultados obtidos são de simples interpretação;
- As vigas de madeira do pavimento onde foram realizados os ensaios de vibração ambiental apresentaram um bom estado de conservação, atendendo aos resultados obtidos com o Resistograph®. Apenas se identificou em certas situações alguma degradação superficial;
- As tábuas das paredes de tabique ensaiadas (exteriores e interiores, em cada piso) apresentaram um bom estado de conservação, com degradação superficial num número reduzido de elementos;
- O teor de humidade obtido nas argamassas de revestimento das paredes de tabique corresponde a valores de equilíbrio, para uma humidade relativa do ar no interior do edifício entre os 50% e os 80%;
- As medições com o humidímetro nas argamassas de revestimento das paredes de tabique apresentaram uma correspondência com os valores do teor de água obtidos em laboratório;
- Numa das paredes de tabique (PT 9.1) a distribuição de valores de humidímetro e de teor de água apresentaram alguma heterogeneidade, com valores menores na zona inferior, enquanto nas outras duas paredes de tabique (PT 5.2 e PT 6.3) essa distribuição foi mais homogénea;
- Os valores do humidímetro nas tábuas de madeira não seguem um padrão de distribuição idêntico ao longo da altura das paredes de tabique ensaiadas, tendo-

se observado apenas na parede PT 6.3, um crescimento dos valores da base para o topo da parede;

- Os valores de humidímetro mais elevados foram registados na parede PT 9.1 e os mais baixos na zona intermédia da parede PT 5.2;
- A maior homogeneidade nas medições do humidímetro verificou-se na parede PT 6.3;
- Existe uma coerência nos resultados do humidímetro com os valores obtidos no Resistograph® para os elementos de madeira das paredes PT 5.2 e PT 6.3, uma vez que na parede PT 5.2 se registaram valores superiores de humidímetro neste material e, simultaneamente, valores de resistência à penetração mais baixos.

6.1 Desenvolvimentos Futuros

Este trabalho é mais um contributo para a melhor compreensão deste tipo de edificado, auxiliando, assim, trabalhos futuros que envolvam obras de conservação e/ou reabilitação de paredes de tabique e pavimentos de madeira maciça, uma vez que se considera que o edifício estudado é representativo do património construído com estes materiais e utilizando estas soluções constutivas.

As limitações habituais neste tipo de sistema construtivo, tão heterogéneo e com recurso amiúde de soluções pontuais para resolver algumas situações inusitadas, estão relacionadas com a dificuldade de acesso a todos os locais ou com condicionamentos nesse acesso, pelo que, em certas circunstâncias, surge a necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado do edifício.

O estudo realizado deixa, contudo, ainda em aberto aspetos que podem vir a ser desenvolvidos em trabalhos futuros, nomeadamente:

- Aproveitar os resultados dos ensaios de vibração ambiental existentes ou a realizar em pavimentos de madeira com soluções estruturais distintas, para calibrar modelos numéricos que traduzam o seu comportamento e a sua rigidez;
- Estabelecer curvas de correlação entre as medições do humidímetro e o teor de humidade para os materiais utilizados nestas construções (argamassas e madeira);
- Procurar casos de estudo em que as paredes de tabique e/ou os pavimentos de madeira se encontrem mais degradados, no sentido de correlacionar os valores

do teor de humidade e do Resistograph® com a capacidade resistente e com a rigidez destes sistemas estruturais;

- Alargar a campanha de ensaios experimentais a realizar em paredes de tabique, como por exemplo, ensaios *in situ* de compressão paralela às fibras, com o objetivo de aferir a capacidade resistente destes elementos estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cardoso, R. (2013). Caracterização da construção em tabique de Lamego e Alto Douro (Tese de Doutoramento), Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal.
- [2] A. J. B. Cepeda (2009). Construções de tabique existentes na Associação de Municípios do Alto Tâmega. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. UTAD. Vila Real, Portugal.
- [3] Ataíde, F., Eires, R., Aires, C., Jesus, C., (2016). Argamassas de revestimento para paredes de tabique. CTAC, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal.
- [4] Carvalho, J. (2009). Construções em tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro (Dissertação de Mestrado). Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- [5] Pinto, R. (2013). Caracterização das paredes de tabique do centro histórico de Viseu (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.
- [6] Freitas, V. coord., vários autores. (2012) Manual de Apoio ao Projeto de Reabilitação de Edifícios Antigos. 1.ª Edição. Porto: Ordem dos Engenheiros da Região Norte. ISBN 978-972-99918-7-5.
- [7] Appleton, J. (2003). Reabilitação de Edifícios Antigos: Patologias e Tecnologias de Intervenção. 1.ª Edição. Amadora: Edições Orion. ISBN 972-8620-03-9.
- [8] Fernandes, C. R. (2015). Avaliação Experimental do Comportamento Mecânico de Paredes de Tabique (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.
- [9] Cerqueira, A. R. M. (2018). Reabilitação de Edifícios Históricos (Relatório de Estágio de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal.
- [10] Pinto, J., Gulay, G., Vieira, J., Meltem, V., Varum, H., Bal, I., Costa, A. (2014). Save the tabique construction. In Structural rehabilitation of old buildings, p. 157-185, vol. 2, Costa, A., Guedes, J., Varum, H., Ed. Heidelberg: Springer.
- [11] Fagulha, J. coord. (2016). Reabilitação e conservação do património arquitectónico. Secção Regional Sul da Ordem dos Arquitectos. Lisboa. (Cadernos técnicos; 4). ISBN 978-972-8897-49-9.
- [12] Rodrigues, M. (2022). Caracterização das ligações metálicas na reabilitação de paredes de tabique em edifícios do centro histórico de Viseu (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.
- [13] Padrão, J., Guedes, J., Pinto, J., Arêde, A. (2020). As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. p.71-84. Ed. LNEC. Série III. n. °14. ISSN 2183-8488.
- [14] Amorim, O. (2016). Avaliação experimental do comportamento de paredes de tabique ao corte no plano (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.

- [15] Teixeira, J. J. L. (2014). *Salvaguarda e Valorização do Edificado Habitacional da Cidade Histórica. Metodologia de Intervenção no Sistema Construtivo da Casa Burguesa do Porto* (Tese de Doutoramento). Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Portugal.
- [16] Pires, A., Guedes, J., Ilharco T. (2016). Análise de paredes de tabique: estudo numérico. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*. p.55-66. Ed. LNEC. Série III. n.º 1. ISSN 2183-8488.
- [17] Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Quelhas, B., Lopes, V., Gonçalves, R., (2018). Caracterização de pavimentos antigos de madeira através de identificação dinâmica. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, p. 83-91. Ed. LNEC. Série III. n.º 8. ISSN 2183- 8488.
- [18] Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Arêde, A., Paupério, E., (2012). Avaliação da distribuição de cargas em pavimentos de madeira através de ensaios *in situ*. *Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões, APET*. Vol. 21, pp 1-11. ISSN 1646-7078.
- [19] Córias, V. (2009). *Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Lisboa: IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal.
- [20] Giocoechea, M. and V. Monjín, (2006). Intervención en Patología de la Edificación– Actuaciones en un. Diagnóstico. Informes. em PATORREB 2006 - 2.º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Volume II. Porto: FEUP Edições, pp. 637–646.
- [21] Córias, V. (2004). *Guia Prático para a Conservação de Imóveis*. Lisboa, Dom Quixote.
- [22] Negrão, J., Amorim, J. (2009). *Projeto de Estruturas de Madeira*. Porto: Publindústria. ISBN: 978-972-8953-36-2
- [23] Ferreira, D., Pinto, C., Borges, P., Fonseca, E. M. M. (2014). Estabilidade dimensional da madeira na presença de água. Congreso Latinoamericano REHABEND 2014, 1-4 Abril, 2014, Santander, España.
- [24] Dias, T. (2007). *Pavimentos de Madeira em Edifícios Antigos; Diagnóstico e Intervenção Estrutural* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- [25] Serpa, R. (2015). *Caracterização dinâmica de um edifício existente de betão armado através de ensaios de vibração ambiental* (Dissertação de Mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.
- [26] Ferreira, J. A. A. (2010). *Técnicas de diagnóstico de patologias em edifícios* (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal.
- [27] Ilharco, T., Guedes, J., Costa, A., Paupério, E., Arêde, A. (2008). Análise de pavimentos de madeira através de ensaios *in situ*. O caso dos edifícios antigos do Porto. 4th CINPAR - Conference on Structural Defects and Repair. p.1-15.
- [28] Pinto, J., Teixeira, M., Cunha, V. M. C. F., Arede, A., Guedes, J., Cunha, S., Feio, A., Varum, H., (2014). *Correlação entre ensaios com câmara termográfica e resistógrafo na*

avaliação da integridade de vigas antigas de madeira. 9º congresso nacional de mecânica experimental. CNME 2014. Universidade de Aveiro.

[29] Feio, A., (2006). Inspecção e diagnóstico de estruturas históricas de madeira: Correlação com métodos não destrutivos e comportamento estrutural (Tese de Doutoramento), Guimarães: Universidade do Minho.

[30] Lourenço, Feio, A., Machado, J., (2007). Chestnut wood in compression perpendicular to the grain: Non-destructive correlations for test results in new and old wood. *Construction and Building Materials* 21, Elsevier, pp. 1617–1627.

[31] Carrasco E. V. M., Pereira, N. C. S., Alves, R.C. (2013). Estimativa da densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. *Revista Construindo*. 5 (1): 45-51.

[32] Freitas, V. P., Guimarães. A. S., Delgado J. M. P. Q. (2011). The “Humivent” Device for Rising Damp Treatment. *Recent Patents on Engineering*, vol 5, pp.233–240. Doi: <https://doi.org/10.2174/187221211797636863>

[33] Hall, C., Hoff, W. D. (2007). Rising damp: capillary rise dynamics in walls, *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 463 1871–1884.

[34] Oliveira, L. M. G., Freire, F. L. O., Ribeiro, F. R. C., Sousa, I. N. L., Mesquita, E., Bertini, A. A. (2022). Investigation of the mortars and clay bricks of a luso-brazilian historic structure from XVIII century: The Nosso Senhor do Bonfim Church. *Journal of Building Engineering*, 45, 103592.

[35] Mehta, P. K., Monteiro, P. (2014). *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*. São Paulo: IBRACON ISSN: 978-85-98576-21-3.

[36] Palmeira, C. (2010). A madeira e os seus agentes de degradação. *Oppidum*, ano 5, número 4, p. 243-256.

[37] Manual Equipamento Humidímetro – Protimeter Surveymaster.

[38] Godinho, V. M. F. (2014). Caracterização das argamassas em edifícios antigos de Viseu. (Dissertação de Mestrado). Instituto Politécnico de Viseu, Portugal.

[39] NP 83 (1965). Norma Portuguesa. Solos. Determinação da densidade das partículas. Lisboa. LNEC.

[40] NP 143 (1969). Norma Portuguesa. Solos. Determinação dos limites de consistência. Lisboa. LNEC.

[41] E 199 (1967). Solos. Determinação do Equivalente de areia. Lisboa. LNEC.

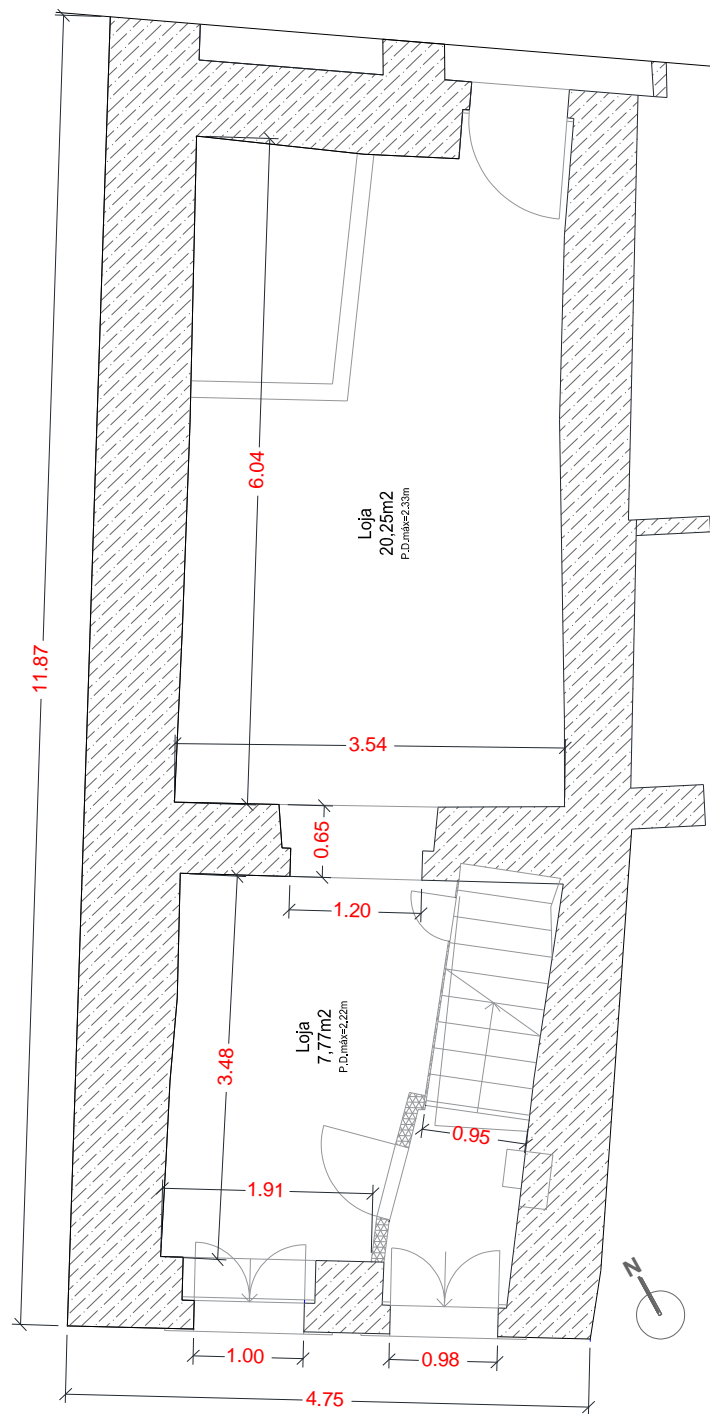
[42] Silva, A., Reis, M. (2001). Caracterização de argamassas antigas. 2ª ed. Lisboa. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

[43] Veiga, M. (2003). Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. *Actas do 3º ENCORE, Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação*. Lisboa. LNEC.

- [44] Dias, I. M. (2013). Desenvolvimento e caracterização de argamassas de cal aérea e terra. A influência da terra como agregado parcial (Dissertação de Mestrado). Universidade Nova de Lisboa, Portugal.
- [45] Google Earth. (2022).
- [46] Padrão, J., Fernandes, C., Guedes, J. M., Pinto, J.; Arêde, A. (2016). A contribution for tabique walls characterization. Proceedings of the 7th International Conference on Safety and Durability of Structures, ICOSADOS 2016, UTAD, Portugal, May 10 - 12.
- [47] Sousa, V., Pereira, F., Brito, J. (2005). Rebocos tradicionais: principais causas de degradação. Engenharia Civil, nº.23, pp. 05-18.
- [48] Norma Portuguesa NP EN 1097 (2011): Ensaios das propriedades mecânica e física dos agregados - Parte 5: Determinação do teor de água por secagem em estufa ventilada. IPQ, Lisboa.
- [49] Barros, T. (2009). Análise dinâmica em passarela sujeita movimentação humano (Trabalho de conclusão do curso). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- [50] Bodgi, J. (2008). Synchronisation piétons-structure: Application aux vibrations des passerelles suples (Docteur en Structures et Matériaux) – L'École Nationale des Ponts et chaussées. Paris.
- [51] NP EN 338, Madeira para Estruturas – Classes de Resistência. IPQ, 2003.
- [52] EN 1995-1-1 – Eurocode 5 (2004): Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings, CEN, Belgium.
- [53] NCREP – Consultoria em Reabilitação do Edificado e Património, Lda. www.ncrep.pt
- [54] Moisture in Concrete and Moisture-Sensitive Finishes and Coatings, Data Sheet, April 2007, Cement Concrete and Aggregates Australia.
- [55] Straube, J, Moisture Properties of Plaster and Stucco for Strawbale Buildings, Canada Mortgage and Housing Corporation, Research Report, 00–132, 2000.

APÊNDICES

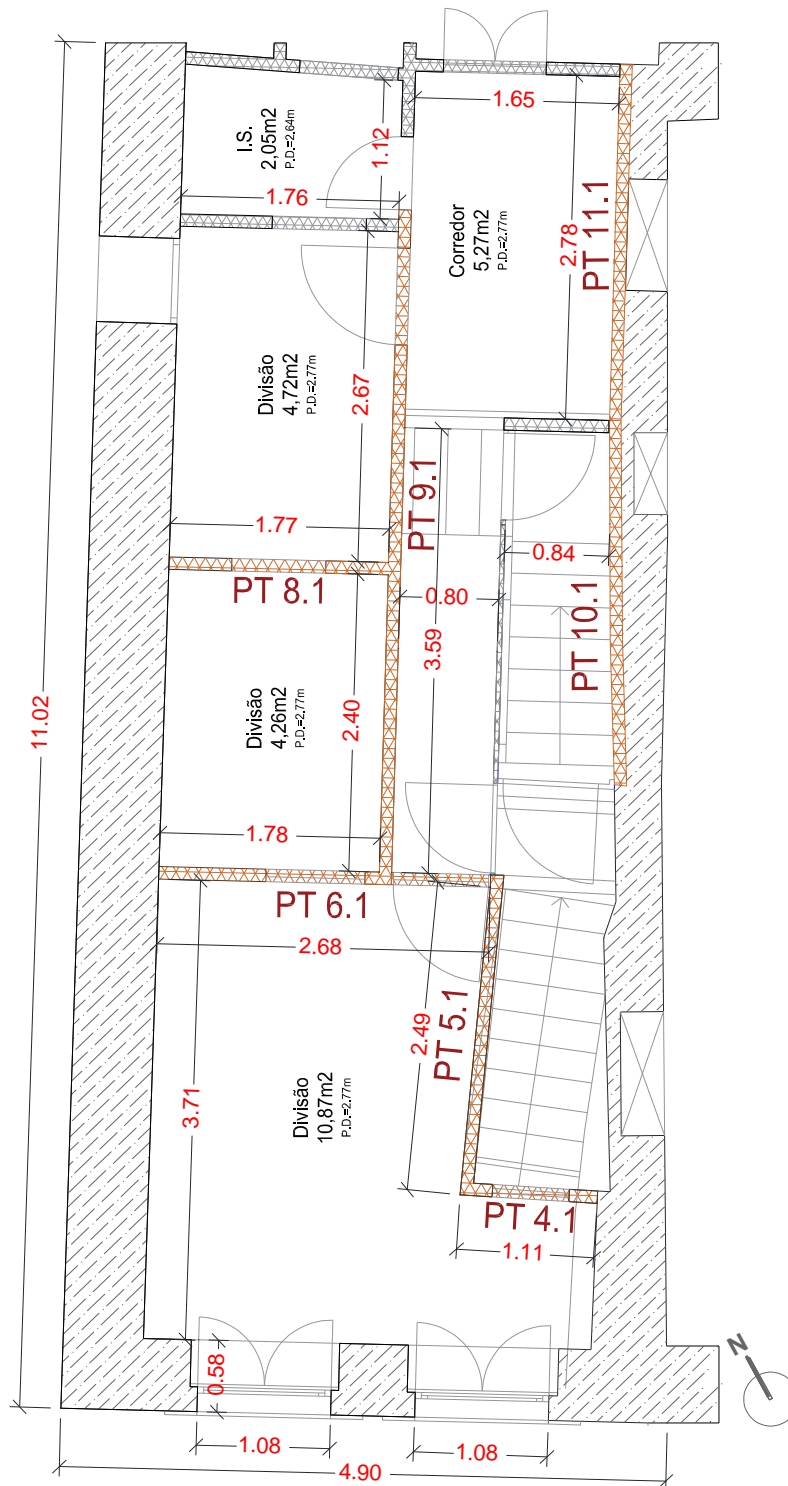
APÊNDICE A – Plantas com Indicação das Paredes de Tabique



ALÇADO PRINCIPAL - PISO 0

LEGENDA	
	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique (PT) inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AP. A.1: Localização das PT no Piso 0

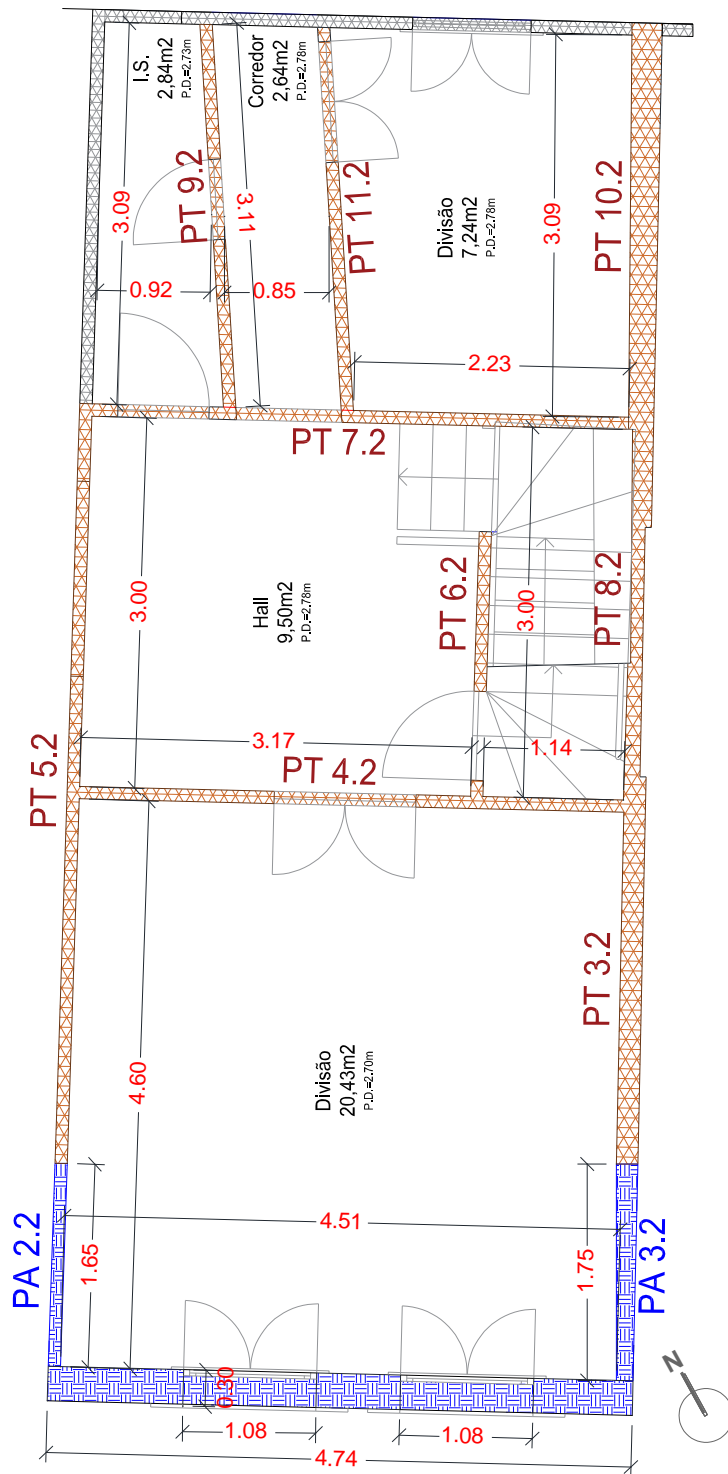


ALÇADO PRINCIPAL - PISO 1

LEGENDA

	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AP. A.2: Localização das PT no Piso 1



ALÇADO PRINCIPAL - PISO 2

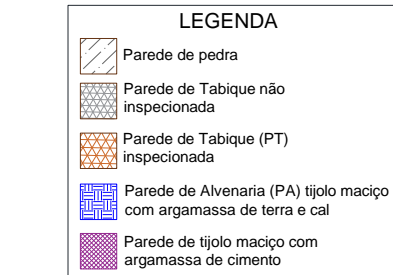
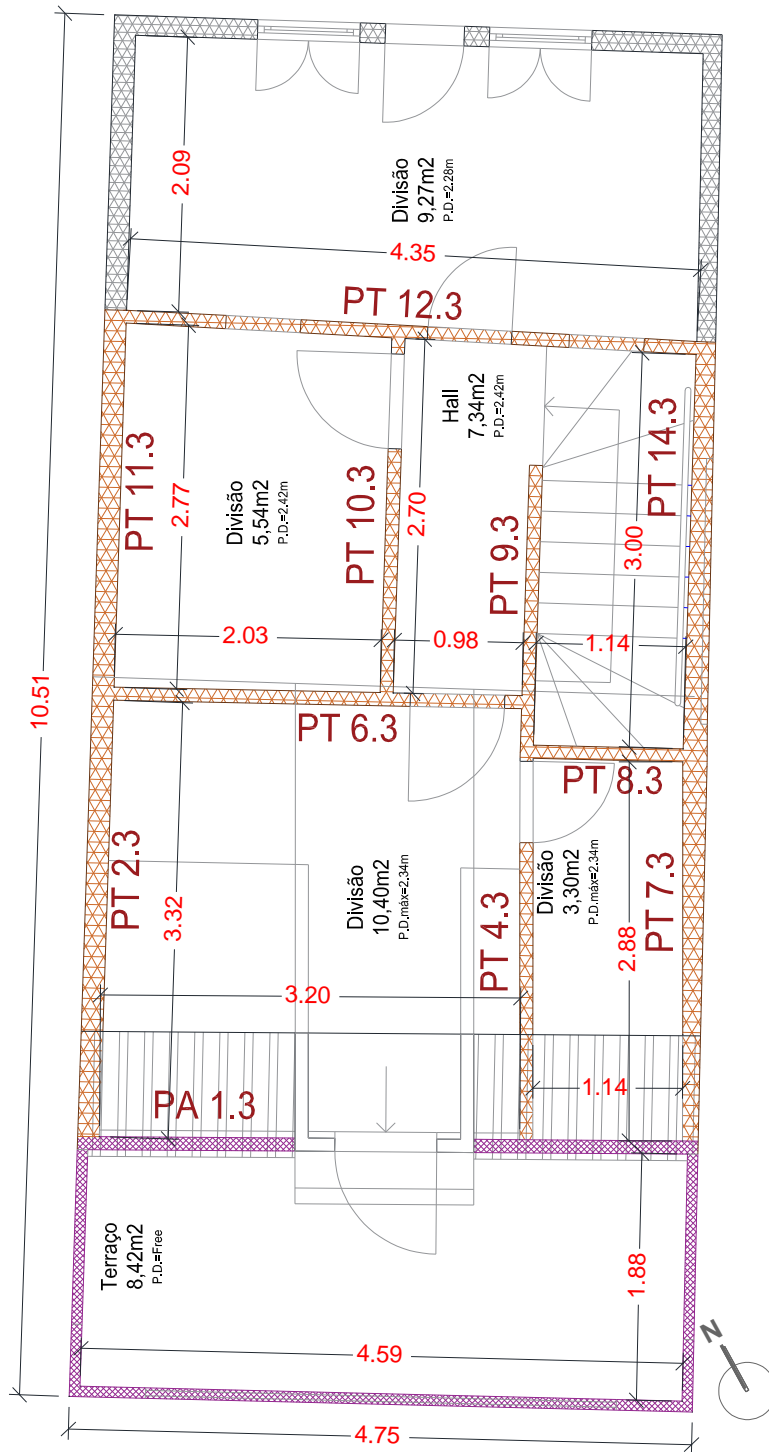


Figura AP. A.3: Localização das PT no Piso 2



ALÇADO PRINCIPAL - PISO 3

LEGENDA	
	Parede de pedra
	Parede de Tabique não inspecionada
	Parede de Tabique (PT) inspecionada
	Parede de Alvenaria (PA) tijolo maciço com argamassa de terra e cal
	Parede de tijolo maciço com argamassa de cimento

Figura AP. A.4: Localização das PT no Piso 3

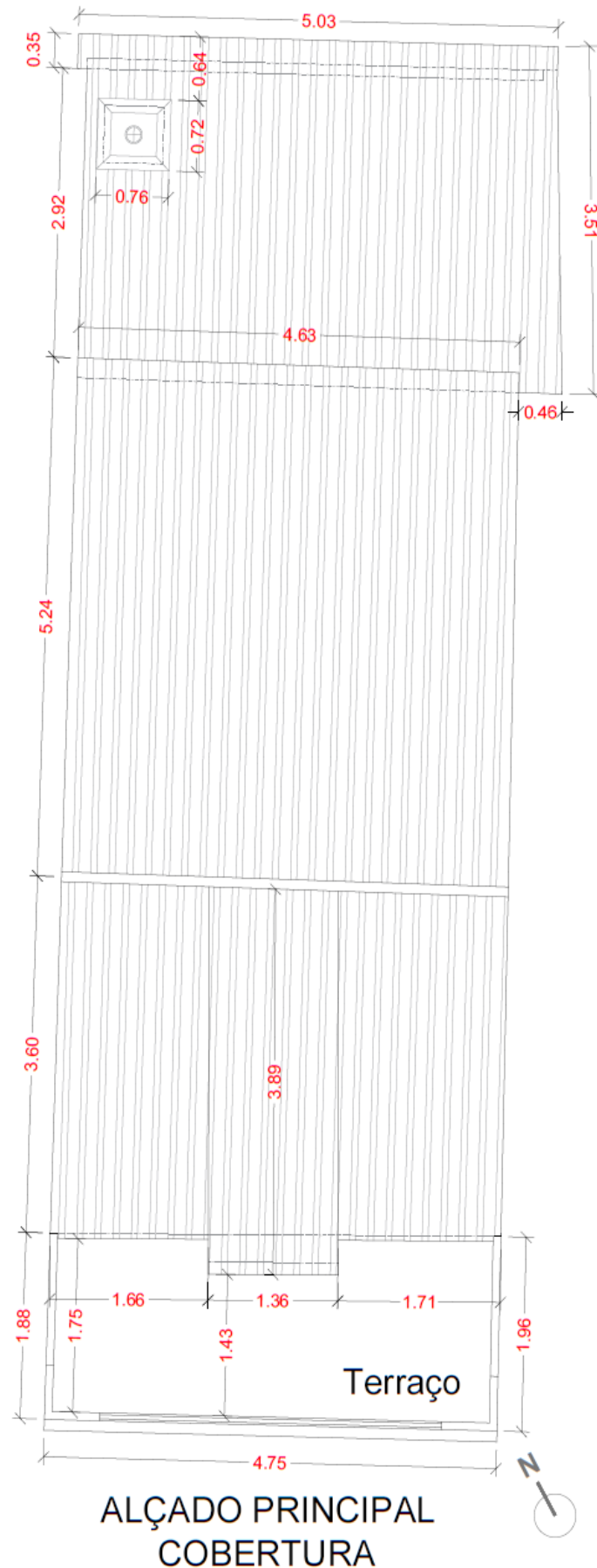


Figura AP. A.5: Planta da Cobertura

APÊNDICE B - Plantas com Disposição das Vigas dos Pavimentos

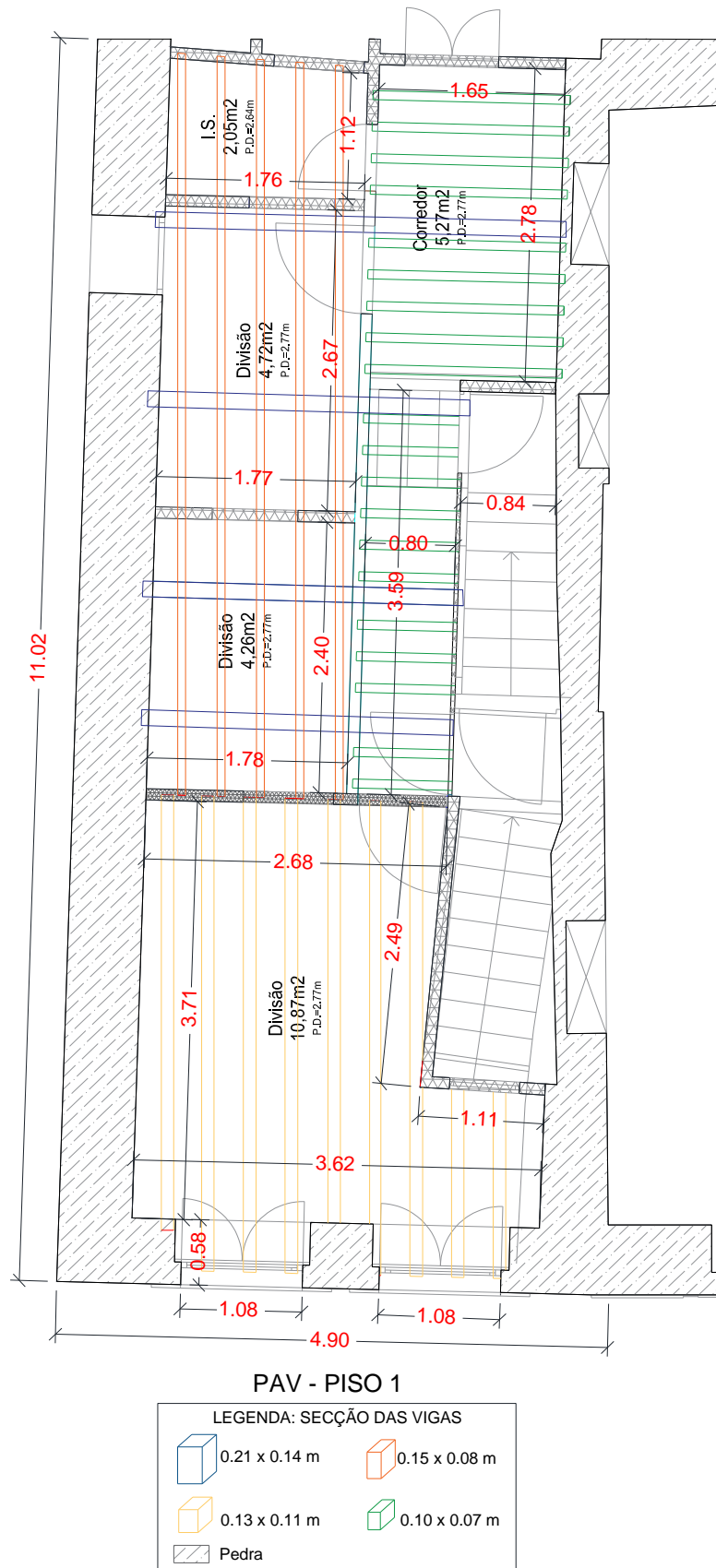


Figura AP. B.1: Disposição das vigas no pavimento do Piso 1

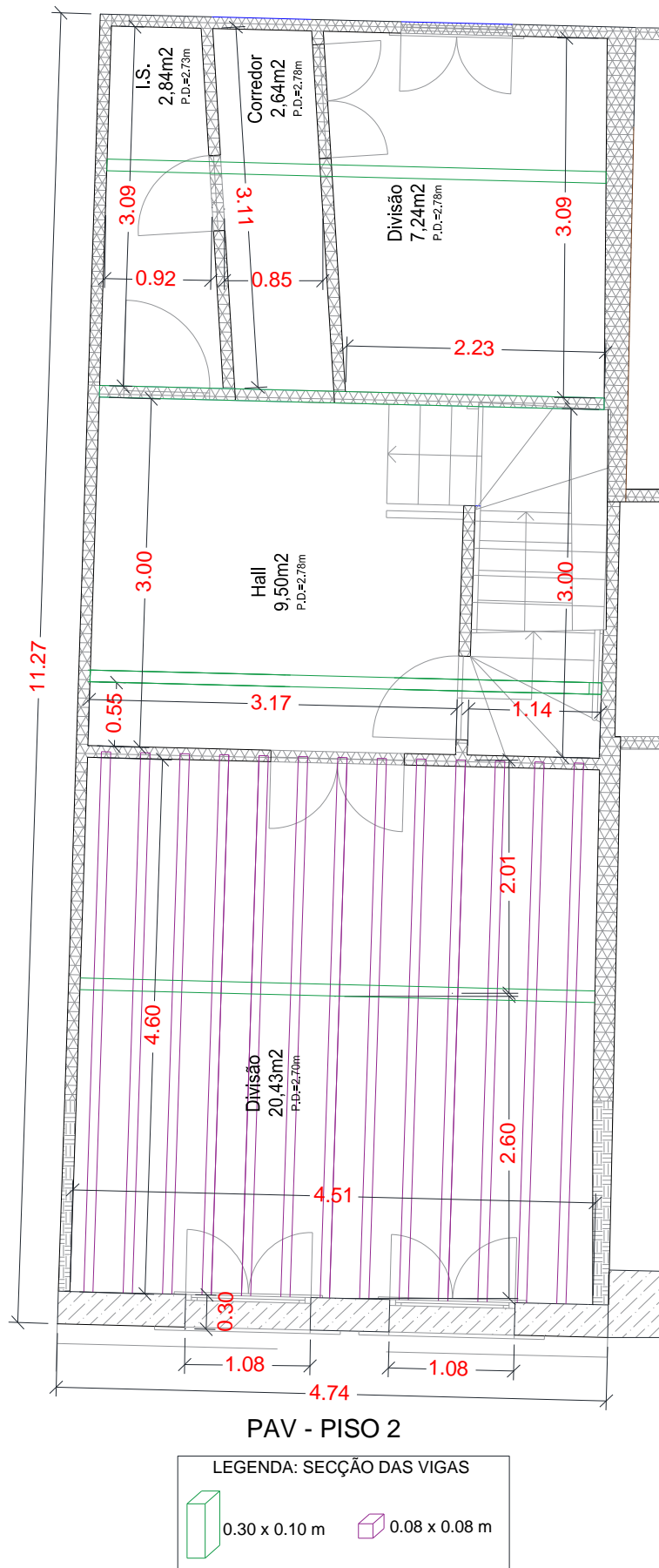


Figura AP. B.2: Disposição das vigas no pavimento do Piso 2

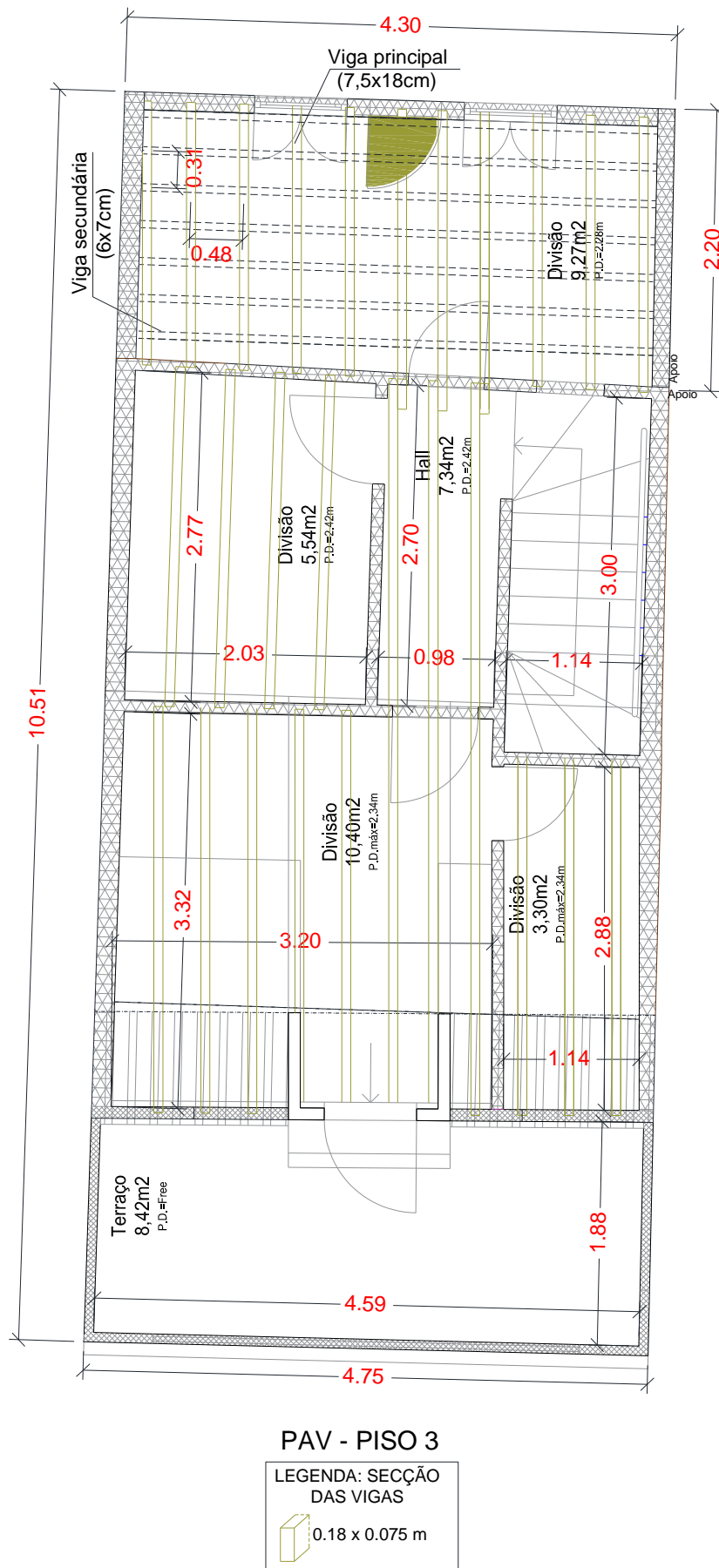
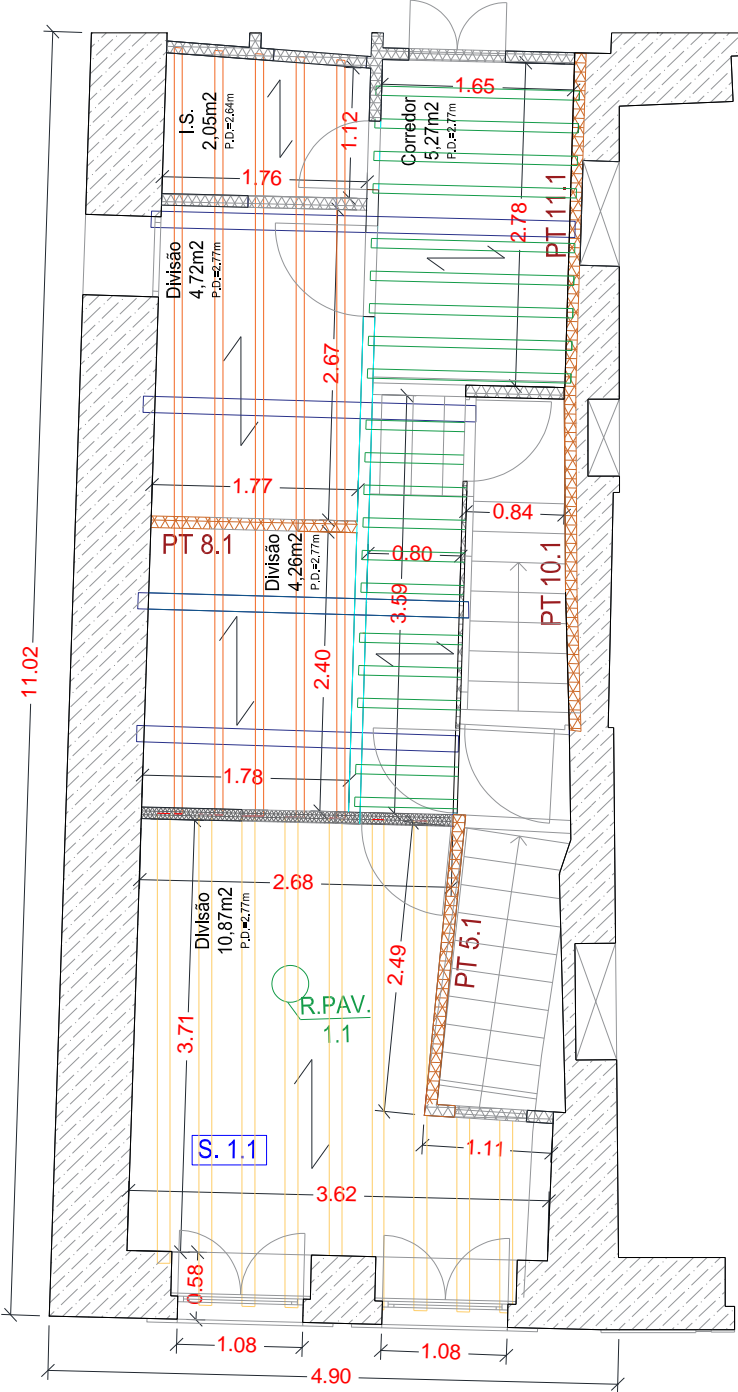


Figura AP. B.3: Disposição das vigas no pavimento do Piso 3

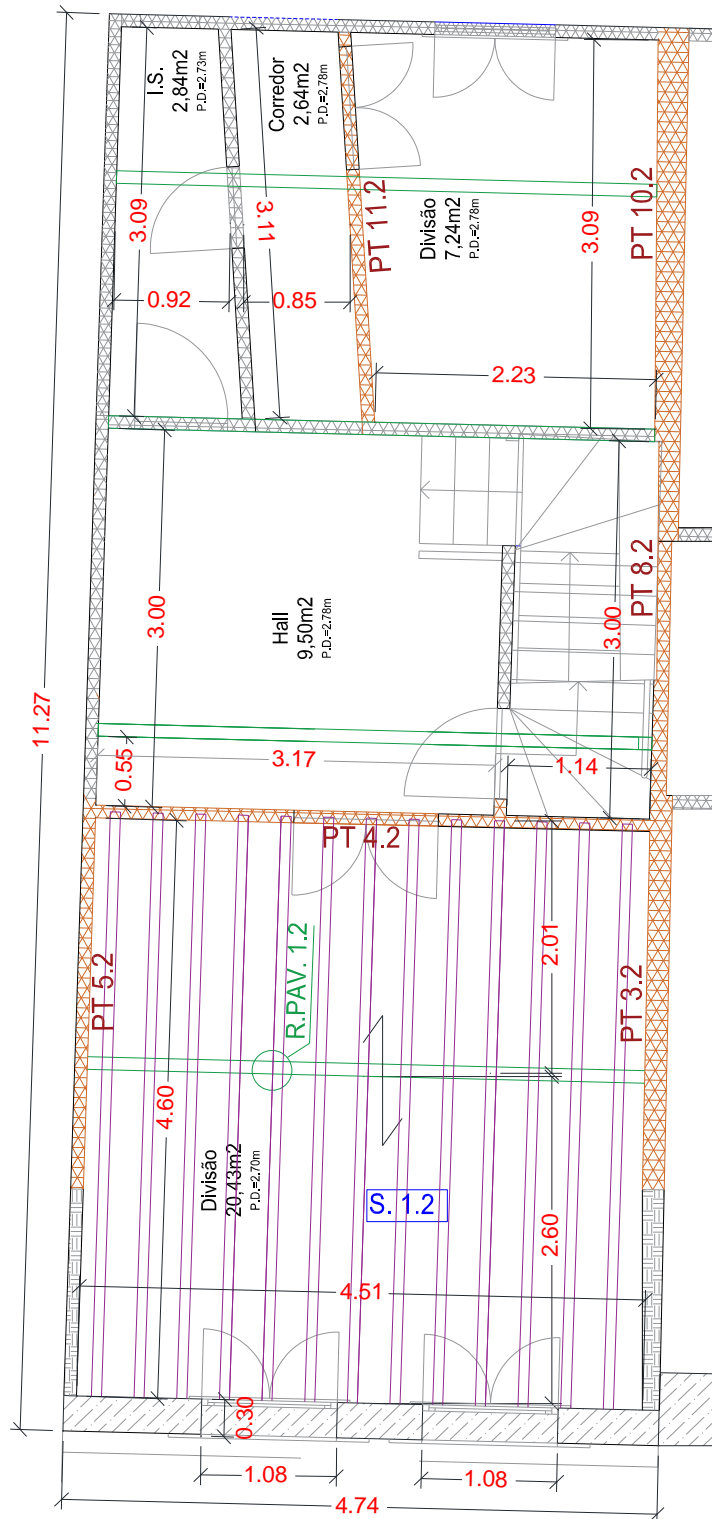
APÊNDICE C – Localização dos Ensaios com Sismógrafo e Resistograph®



PAV - PISO 1

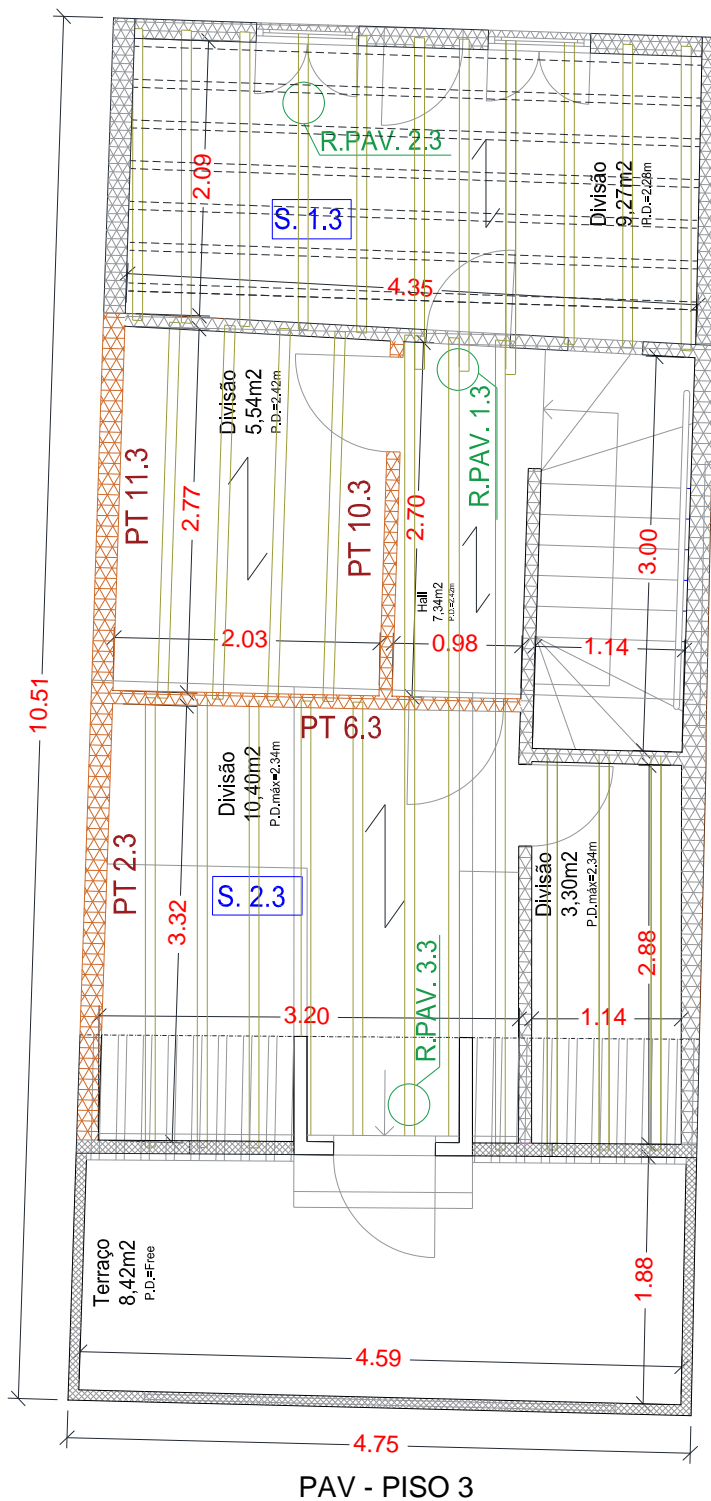
LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AP. C.1: Localização dos ensaios no Piso 1



LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AP. C.2: Localização dos ensaios no Piso 2



LEGENDA	
S. x.x	Local do ensaio com o Sismógrafo
PT x.x	Parede de Tabique (PT) inspecionada com o Resistograph®
R.PAV. x.x	Local do ensaio com o Resistógrafo no pavimento

Figura AP. C.3: Localização dos ensaios no Piso 3

APÊNDICE D – Caracterização das Dimensões das Paredes

Quadro AP.D.1: Dimensões dos elementos de madeira da PT4.1 (modelo T2S) localizada no Piso 1 - Nível 0

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 1 Interior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,00	4,50	2,00		3,70	1,00	4,50
	21,00	2,70	0,80		3,30	1,10	4,50
	20,00	2,90	2,50		3,60	1,00	4,00
	21,00	4,00	2,20		3,80	1,00	3,80
	20,00	4,10	2,50		2,80	0,90	4,10
	21,00	4,30	3,00		3,60	0,90	4,10
	19,50		3,70		2,90	1,00	4,00
	19,00				3,50	9,90	4,00
	18,50				4,00	0,80	3,80
	18,00				3,60	0,90	4,20
					3,50	1,10	4,10
				4,00	0,90	3,50	
Valor médio (cm)	19,80	3,75	2,39		3,53	1,71	4,05
Desvio padrão (cm)	1,06	0,76	0,90		0,37	2,58	0,28
Coefficiente de variação (%)	5,35	20,22	37,60		10,62	151,10	6,94

Quadro AP. D.2: Dimensões dos elementos de madeira da PT5.1 (modelo T2S) localizada no Piso 1 - Nível 0

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 1 Interior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	19,00	5,10	3,50		2,90	1,00	3,50
	19,00	5,10	3,00		3,00	1,50	4,50
	19,50	4,00	3,50		3,10	1,10	4,10
	21,00	4,00	1,80		2,90	0,90	3,00
	17,00	5,00	6,00		2,80	1,40	3,50
	10,70	4,00	5,50		3,20	1,20	3,60
	11,00	4,70	3,50		3,50	1,50	3,10
	10,50	4,40	5,00		2,40	1,00	3,40
Valor médio (cm)	15,96	4,54	3,98		2,98	1,20	3,59
Desvio padrão (cm)	4,47	0,50	1,41		0,32	0,24	0,50
Coefficiente de variação (%)	27,97	11,05	35,37		10,74	19,92	13,85

Quadro AP. D.3: Dimensões dos elementos de madeira da PT6.1 (modelo T2S) localizada no Piso 1 - Nível 0

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 1 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	19,00	4,50	1,20		4,00	1,00	3,70
	17,50	4,50	1,50		3,50	1,00	3,50
	16,80	4,50	1,80		4,10	1,50	4,20
	19,70	4,50	3,80		2,10	0,80	3,60
	17,50	4,50	4,00		3,90	1,10	3,10
	17,00	4,50	5,50		4,00	1,60	2,50
	10,50	4,50	0,60		4,00	1,70	3,30
	10,20	4,50	0,20		2,90	1,00	4,00
Valor médio (cm)	16,03	4,50	2,33		3,56	1,21	3,49
Desvio padrão (cm)	3,64	0,00	1,88		0,71	0,34	0,53
Coefficiente de variação (%)	22,71	0,00	80,92		20,01	27,68	15,28

Quadro AP. D.4: Dimensões dos elementos de madeira da PT8.1 (modelo T2S) localizada no Piso 1 - Nível 0

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 1 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	10,00	3,50	3,50		3,70	1,00	3,60
	10,00	3,00	3,00		3,90	1,00	4,30
	10,00	4,00	2,80		2,20	0,90	3,10
	9,00	4,00	2,30		3,50	1,10	4,30
	8,00	5,00	1,50		3,50	1,30	4,50
	8,00	4,50	2,80		3,70	1,00	2,70
	21,80	4,50	1,70		3,80	1,30	3,00
	22,00	4,30	2,00		3,70	1,10	2,10
	23,00		3,80		2,50	1,30	3,80
	19,50		3,50		3,40	0,90	3,00
	14,30		1,00		2,80	1,10	3,00
	14,70		0,80		3,50	1,20	3,50
	14,50		1,20		2,40		3,60
					3,30		3,80
						4,20	
Valor médio (cm)	14,22	4,10	2,30		3,28	1,10	3,50
Desvio padrão (cm)	5,64	0,63	1,01		0,56	0,15	0,68
Coefficiente de variação (%)	39,65	15,32	44,13		17,18	13,43	19,44

Quadro AP. D.5: Dimensões dos elementos de madeira das PT (modelo T2S) localizadas no Piso 1 - Nível 0

Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica do Piso 1						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Valor médio (cm)	12,84	4,22	2,75		3,34	1,31	3,66
Desvio padrão (cm)	1,00	0,33	0,44		0,18	1,17	0,16
Coefficiente de variação (%)	7,77	7,85	16,18		5,40	89,85	4,51

Quadro AP.D.6: Dimensões dos elementos de madeira da PT3.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	19,50	2,70	2,80		3,00	1,00	1,80
	22,70	3,80	4,80		3,20	1,30	2,70
	15,80	4,50	2,30		2,90	1,00	2,80
	11,90	3,30	2,70		3,50	0,90	3,10
	21,10	3,20	0,80		3,30	0,80	2,60
	23,50	3,50	4,60		3,20	1,00	2,80
	15,30	3,00	1,70		3,10	1,20	3,20
	14,70	2,90	2,10		3,20	1,10	3,50
					2,80		
					2,90		
					3,30		
				3,00			
Valor médio (cm)	18,06	3,36	2,73		3,12	1,04	2,81
Desvio padrão (cm)	4,22	0,58	1,37		0,20	0,16	0,51
Coefficiente de variação (%)	23,34	17,12	50,31		6,54	15,40	17,97

Quadro AP.D.7: Dimensões dos elementos de madeira da PT4.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	21,10	4,00	3,00	19,35	4,00	1,00	1,60
	21,30	4,00	2,40	21,46	3,50	0,90	3,00
	11,30	4,50	5,00		2,60	1,20	4,90
	10,50	3,90	5,50		2,10	1,00	3,00
	10,00	3,80	1,70		3,10	1,10	2,90
	9,70	3,30	2,30		3,30	0,90	2,10
	14,50	3,90	3,20		3,30	1,10	3,70
	14,40	4,30	2,80		1,80	1,20	3,40
	15,00	4,00	3,10		2,90	1,00	4,50
	14,80	3,60	2,30		2,00	1,30	4,80
	13,10	3,50	3,00		3,20	1,00	3,60
	14,00	4,50	3,10		2,40	1,20	3,70
	14,50	4,50	1,50		3,20	1,10	4,10
	14,50	4,20	2,90		2,00	1,30	2,20
	14,00	4,30	1,60		2,60	1,00	4,10
	12,50	3,50	2,00		3,50	0,90	3,00
	15,00				3,20	1,00	3,00
	12,50				3,30	1,20	4,50
					3,30	1,20	3,00
					3,30	0,90	2,70
				2,40	0,90	2,90	
				2,30	1,20	3,80	
				3,00	1,30	3,90	
				3,10	0,90	2,90	
Valor médio (cm)	14,04	3,99	2,84		2,89	1,08	3,39
Desvio padrão (cm)	3,13	0,38	1,10		0,57	0,14	0,85
Coefficiente de variação (%)	22,30	9,56	38,80		19,88	13,23	25,11

Quadro AP.D.8: Dimensões dos elementos de madeira da PT5.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,50	4,10	1,90	20,56	2,50	1,20	2,10
	19,00	4,10	1,50		3,40	1,00	3,10
	20,60	4,90	2,00		2,60	1,20	2,20
	20,00	4,90	5,50		3,70	1,00	2,80
	22,50	4,30	5,50		3,60	1,30	4,50
	22,60	4,90	3,50		3,40	1,00	2,00
	19,50	4,60	2,00		2,90	1,00	3,20
	19,50	4,50	5,20		2,70	1,10	3,00
	15,00	4,40	1,80		2,60	1,00	3,30
	16,00	4,30	2,80		4,00	1,00	2,80
	19,00	4,00	3,00		3,00	0,90	2,90
	17,50	4,00	2,80		2,90	0,90	3,30
	22,00	3,50	1,80		3,80	1,00	4,50
	22,00	4,00	2,00		2,60	0,90	3,50
	15,50	4,80	3,80		3,00	1,30	4,90
	15,50	4,80	3,00		3,20	1,00	4,70
		3,90			2,90	1,10	4,00
		4,00			3,50	1,40	4,50
					3,30	1,50	4,90
				3,30	1,10	3,50	
				2,60			
				3,00			
				3,00			
				2,90			
Valor médio (cm)	19,17	4,33	3,01		3,10	1,10	3,49
Desvio padrão (cm)	2,59	0,42	1,36		0,42	0,17	0,93
Coefficiente de variação (%)	13,52	9,60	45,16		13,55	15,53	26,68

Quadro AP.D.9: Dimensões dos elementos de madeira da PT6.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Interior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	16,50	4,00	2,10		3,00	0,90	3,10
	16,80	3,80	3,10		3,10	0,80	3,80
	18,30	4,00	3,80		3,10	1,00	3,20
	20,20	3,80	2,80		3,00	0,90	3,20
	16,00	3,50	6,30		3,20	1,30	3,00
	16,80	4,80	5,50		3,40	1,40	3,50
	18,00	3,70	2,00		3,30	1,00	4,20
	18,00	4,00	2,00		3,10	1,20	3,30
					2,80	0,90	3,40
				3,00	1,30	3,20	
Valor médio (cm)	17,58	3,95	3,45		3,10	1,07	3,39
Desvio padrão (cm)	1,34	0,39	1,65		0,17	0,21	0,36
Coefficiente de variação (%)	7,64	9,76	47,78		5,48	19,73	10,72

Quadro AP.D.10: Dimensões dos elementos de madeira da PT10.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	17,50	3,50	3,50		4,00	0,90	3,50
	18,00	5,00	3,60		2,50	0,90	3,50
	17,50		3,00		3,20	1,30	3,90
	18,30		3,10		3,00	1,10	3,10
	17,00		3,10		4,00	1,30	3,40
	18,00		1,60		3,70	1,00	4,60
	17,30		1,60		3,50	1,50	4,00
	16,50		3,60		4,00	1,00	3,90
Valor médio (cm)	17,51	4,25	2,89		3,49	1,13	3,74
Desvio padrão (cm)	0,59	1,06	0,83		0,55	0,22	0,46
Coefficiente de variação (%)	3,36	24,96	28,70		15,81	19,45	13,38

Quadro AP.D.11: Dimensões dos elementos de madeira da PT7.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	14,90	3,00	3,20		3,00	1,10	3,10
	14,50	2,90	2,90		3,00	1,30	3,70
	14,10	3,00	3,10		3,30	1,10	3,00
	14,00	3,50	2,90		2,70	1,10	2,90
	14,00	3,70	2,60		3,40	1,30	2,90
	14,00	3,80	1,30		3,20	0,80	3,60
	14,70	4,00	1,80		3,00	1,00	3,50
	14,90	3,40	2,60		2,80	1,00	4,00
	15,00	3,40	2,90		2,30	1,10	3,60
	18,50	3,80	2,00		2,70	0,80	3,30
	18,80	3,60	1,80		3,00	1,00	2,70
	18,90	4,50	1,80		3,50	0,90	2,80
	15,10	3,00	1,80		3,00	1,00	3,90
	13,90	3,30	4,00		2,20	0,80	3,70
	14,00	3,50	4,10		2,80	0,90	3,00
14,10	3,80	4,30		3,10	0,80	3,10	
Valor médio (cm)	15,21	3,51	2,69		2,94	1,00	3,30
Desvio padrão (cm)	1,80	0,43	0,91		0,35	0,16	0,41
Coeficiente de variação (%)	11,81	12,16	33,82		12,04	16,33	12,57

Quadro AP.D.12: Dimensões dos elementos de madeira da PT8.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Exterior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,00	4,00	2,80		3,00	1,30	
	19,50	5,00	3,20		3,60	1,60	2,90
	18,30	4,80	3,00		3,60	0,90	4,80
	17,90	4,80	3,40		2,90	1,00	4,40
	19,50	3,80	2,70		3,40	1,60	2,90
	20,50	6,00	3,10		3,80	1,30	4,90
	18,00		2,80		2,80	1,20	3,80
	19,30		1,80		3,20	0,90	3,60
					3,90	0,90	3,40
					3,80	1,00	3,40
					3,60	1,10	3,70
					3,50	1,10	3,30
						4,40	
Valor médio (cm)	19,13	4,73	2,85		3,43	1,16	3,79
Desvio padrão (cm)	0,96	0,79	0,48		0,37	0,25	0,69
Coefficiente de variação (%)	5,01	16,62	16,98		10,79	21,61	18,08

Quadro AP.D.13: Dimensões dos elementos de madeira da PT9.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	12,00	3,50	2,80		2,90	1,30	3,00
	12,40	3,60	2,70		3,00	1,00	2,80
	16,00	3,70	3,50		2,80	1,00	3,30
	16,50	3,80	3,00		3,30	0,70	2,70
	13,50	3,80	4,50		2,80	0,90	2,90
	11,30	3,30	4,20		3,60	0,80	2,20
	10,50	4,00	1,80		2,60	1,10	2,70
	11,30	3,80	1,90		3,10	0,90	3,00
	10,50	3,40	6,70		3,10	1,80	3,30
	12,00	3,70	6,90		3,10	1,50	3,30
					3,60	1,80	3,00
					3,30	1,50	3,40
					3,10	0,70	3,30
					3,60	1,00	3,80
				4,00	0,90	4,00	
				3,70	0,80	4,00	
Valor médio (cm)	12,60	3,66	3,80		3,23	1,11	3,17
Desvio padrão (cm)	2,12	0,21	1,80		0,39	0,36	0,49
Coefficiente de variação (%)	16,84	5,79	47,42		11,96	32,92	15,41

Quadro AP.D.14: Dimensões dos elementos de madeira da PT11.2 (modelo T2S) localizada no Piso 2 - Nível 1

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 2 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	16,50	4,50	6,30		3,50	0,90	3,60
	17,20	4,50	4,90		2,50	0,90	4,10
	14,50	3,40	2,00		2,70	1,00	4,10
	16,00	5,30	1,60		3,00	0,80	2,00
	13,00	2,90	4,90		3,00	0,90	3,00
	11,30	5,10	5,80		4,00	1,20	4,00
	11,00	3,70	2,00		3,10	0,80	3,50
	12,00		1,10		4,40	0,60	2,70
	12,50		5,00		3,80	1,10	4,80
	13,50		5,20		2,50		
				3,00			
Valor médio (cm)	13,75	4,20	3,88		3,23	0,91	3,53
Desvio padrão (cm)	2,21	0,89	1,96		0,62	0,18	0,85
Coefficiente de variação (%)	16,00	21,00	51,00		19,00	19,00	24,00

Quadro AP. D.15: Dimensões dos elementos de madeira das PT (modelo T2S) localizadas no Piso 2 - Nível 1

Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica do Piso 2						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Valor médio (cm)	16,34	4,00	3,13		3,17	1,06	3,40
Desvio padrão (cm)	1,12	0,28	0,49		0,16	0,07	0,28
Coefficiente de variação (%)	6,86	7,04	15,56		4,97	6,42	8,27

Quadro AP.D.16: Dimensões dos elementos de madeira da PT2.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	14,00	4,50	0,50		2,80	1,00	5,50
	13,50	4,50	1,80		3,10	1,30	3,00
	19,50	4,50	2,50		3,00	0,80	6,40
	20,00	4,30	2,60		2,80	1,80	3,00
	14,50	4,50	4,20		3,60	0,90	5,00
	14,00	4,00	4,90		2,70	1,50	3,50
	14,00	4,00	7,00		4,00	1,00	5,00
	13,70	4,40	6,80		3,30	1,70	4,10
Valor médio (cm)	15,40	4,34	3,79		3,16	1,25	4,44
Desvio padrão (cm)	2,70	0,22	2,35		0,45	0,38	1,24
Coefficiente de variação (%)	17,55	5,07	62,02		14,24	30,54	27,91

Quadro AP.D.17: Dimensões dos elementos de madeira da PT11.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	18,00	3,60	2,00		3,50	1,00	4,90
	18,50	4,50	3,10		3,00	0,80	4,20
	14,60	3,70	1,80		4,00	0,80	4,50
	14,00	4,50	2,00		3,00	1,50	3,80
	22,00	4,80	2,50		3,50	1,60	3,70
	21,00	4,50	3,00		3,00	0,50	3,50
	22,50	4,00	2,20		3,40	1,50	3,70
	23,00	4,00	2,80		3,00	0,90	3,80
Valor médio (cm)	19,20	4,20	2,43		3,30	1,08	4,01
Desvio padrão (cm)	3,52	0,43	0,50		0,37	0,41	0,48
Coefficiente de variação (%)	18,31	10,34	20,53		11,10	37,79	11,95

Quadro AP.D.18: Dimensões dos elementos de madeira da PT4.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,00	2,80	1,40		3,00	1,70	4,20
	20,00	2,50	1,20		3,00	1,20	4,00
	21,80	2,20	1,70		3,00	1,50	4,10
	22,10	2,00	1,90		3,00	1,70	3,90
	10,50	2,80	1,40		3,00	1,50	3,90
	10,80	2,60	0,90		3,00	1,50	3,50
	18,00	2,90	0,80		3,00	1,00	3,50
	18,00	3,20	0,90		3,00	1,20	3,50
					3,0	1,00	3,50
					3,1	1,00	4,00
					2,90	0,80	4,00
					3,00	0,90	4,00
					2,90	1,20	4,00
					3,00	1,30	4,20
				3,00	1,00	3,60	
				3,00	0,80	3,90	
Valor médio (cm)	17,65	2,63	1,28		2,99	1,21	3,86
Desvio padrão (cm)	4,57	0,39	0,40		0,04	0,30	0,26
Coeficiente de variação (%)	25,91	14,79	31,30		1,22	24,86	6,61

Quadro AP.D.19: Dimensões dos elementos de madeira da PT6.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	23,50	3,30	4,00		3,00	1,00	4,00
	23,30	3,30	1,50		2,90	1,80	3,50
	19,00	3,60	3,50		3,00	1,60	4,00
	19,50	3,30	3,00		2,90	1,10	3,50
	22,50	3,30	1,00		2,70	1,60	4,40
	21,50	3,30	2,50		2,90	1,10	3,30
	25,70	4,10	1,00		2,90	1,70	4,10
	22,50	3,40	2,00		3,00	1,50	3,40
					3,00	1,10	3,70
					2,90	1,00	3,50
					2,90	1,00	3,50
					2,80	1,20	3,70
					2,80	1,20	3,90
				3,00	0,90	3,50	
				2,10	1,00	3,50	
				2,80	1,10	3,40	
Valor médio (cm)	22,19	3,45	2,31		2,85	1,24	3,68
Desvio padrão (cm)	2,18	0,28	1,13		0,22	0,29	0,31
Coeficiente de variação (%)	9,84	8,20	48,95		7,69	23,48	8,43

Quadro AP.D.20: Dimensões dos elementos de madeira da PT7.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Exterior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	16,00	3,50	1,50		2,50	0,80	3,20
	15,90	4,00	1,50		3,10	1,00	2,80
	12,30	4,00	1,40		3,00	0,50	4,30
	12,30	3,80	1,50		3,10	0,50	3,50
	12,10	3,90	2,00		3,00	1,10	3,60
	12,90	3,50	2,20		3,30	1,30	3,60
	12,10	4,50	4,00		3,50	1,00	3,50
	11,80	4,50	4,80		3,40	1,30	2,80
Valor médio (cm)	13,18	3,96	2,36		3,11	0,94	3,41
Desvio padrão (cm)	1,74	0,39	1,31		0,31	0,32	0,49
Coefficiente de variação (%)	13,21	9,72	55,28		9,93	33,70	14,31

Quadro AP.D.21: Dimensões dos elementos de madeira da PT8.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	17,00	4,10	5,50		3,90	0,80	3,50
	17,00	5,00	5,00		3,20	0,80	4,00
	11,00	3,20	1,20		3,80	0,90	2,40
	10,50	4,00	0,90		3,30	1,50	3,20
	18,30	2,70	4,80		2,40	0,70	3,70
	18,20	2,90	4,30		2,40	0,80	3,20
	12,50	3,80	2,40		3,50	0,90	3,30
	11,50	3,30	2,30		3,70	1,40	3,50
Valor médio (cm)	14,50	3,63	3,30		3,28	0,98	3,35
Desvio padrão (cm)	3,42	0,75	1,81		0,59	0,30	0,47
Coefficiente de variação (%)	23,59	20,74	54,88		18,01	30,89	14,00

Quadro AP.D.22: Dimensões dos elementos de madeira da PT9.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior Caixa de escadas	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,00	4,20	2,80		2,90	1,10	3,30
	21,00	4,00	1,90		2,00	0,40	3,3,
	19,00	4,00	1,00		4,20	1,00	3,30
	20,00	4,00	0,90		2,50	0,80	2,40
	15,50	3,50	2,00		3,90	1,00	2,90
	15,00	4,00	2,80		2,50	0,80	3,20
	15,80	3,00	1,70		2,80	1,20	2,60
	16,20	3,20	0,30		3,20	0,70	3,40
					4,10	1,30	2,70
					4,30	1,00	3,30
					4,60	1,30	3,30
					4,20	1,20	3,10
					4,50	0,90	4,30
					4,10	1,10	3,50
				4,10	0,70	3,30	
				4,00	0,50	2,90	
Valor médio (cm)	17,81	3,74	1,68		3,62	0,94	3,17
Desvio padrão (cm)	2,42	0,44	0,90		0,83	0,27	0,45
Coefficiente de variação (%)	13,59	11,87	53,57		22,88	28,85	14,16

Quadro AP.D.23: Dimensões dos elementos de madeira da PT12.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	18,30	3,50	0,90	23,42	2,90	1,20	4,10
	16,70	3,50	1,10	24,17	2,90	1,40	3,90
	21,00	3,50	2,30		2,90	1,50	3,60
	21,50	2,80	1,30		2,80	1,30	4,00
	16,50	2,90	1,00		2,90	1,30	4,10
	12,40	2,90	0,30		3,00	1,10	4,30
	20,00	3,00	2,00		2,90	1,00	4,00
	20,50	3,20	1,30		3,10	1,00	4,00
	17,00	3,20	1,80		3,00	0,90	3,60
	16,40	3,10	1,80		3,00	1,00	3,30
	12,80	3,00	2,90		3,10	1,10	3,40
	12,90	2,70	2,30		3,10	1,10	3,50
	15,50	2,50	2,70		3,00	1,20	4,20
	16,00	3,90	2,10		3,00	1,10	4,10
	17,00	2,80	4,00		3,10	1,20	3,90
	13,10	3,00	1,90		3,10	1,20	3,60
	8,00		3,50		3,10	1,10	3,80
	17,80				3,10	1,00	3,90
	16,00				2,70	1,10	3,50
	12,00				2,80	1,20	3,20
	11,50				2,80	1,00	3,30
	15,30				2,70	0,80	3,50
	15,50				2,70	1,30	3,60
					3,00	1,20	3,80
					2,90	1,10	3,50
					2,70	1,20	3,60
					3,00	1,00	3,60
					2,90	0,90	3,60
					3,20	1,00	3,60
				2,90	0,90	3,70	
				2,70	1,50	3,60	
				3,00	1,30	3,30	
Valor médio (cm)	15,81	3,09	1,95		2,94	1,13	3,71
Desvio padrão (cm)	3,33	0,36	0,96		0,14	0,17	0,29
Coefficiente de variação (%)	21,09	11,65	49,05		4,87	14,97	7,76

Quadro AP.D.24: Dimensões dos elementos de madeira da PT10.3 (modelo T2S) localizada no Piso 3 - Nível 2

Piso Localização Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Piso 3 Interior	Tábuas retangulares				Ripas retangulares		
	20,00	3,00	4,80		3,00	1,40	3,50
	20,00	3,00	6,50		3,00	1,40	4,20
	15,50	3,50	3,50		3,00	1,00	3,80
	17,50	2,50	2,50		3,00	1,00	4,20
	18,00	3,00	1,80		3,00	1,30	3,60
	16,50	3,00	1,80		3,00	1,20	4,20
	21,00	3,00	1,80		3,00	1,30	3,60
	21,30	3,00	2,00		3,00	1,20	4,20
					3,00	1,30	3,60
					2,90	1,50	4,20
					2,90	0,90	4,00
					2,70	1,00	4,10
					2,80	1,00	3,20
					3,00	1,20	3,90
				2,90	0,90	3,60	
				3,00	0,80	4,10	
Valor médio (cm)	18,73	3,00	3,09		2,95	1,15	3,88
Desvio padrão (cm)	2,15	0,27	1,74		0,09	0,21	0,32
Coefficiente de variação (%)	11,50	8,91	56,43		3,03	18,24	8,30

Quadro AP. D.25: Dimensões dos elementos de madeira das PT (modelo T2S) localizadas no Piso 3 - Nível 2

Medidas	Parâmetros de caracterização geométrica do Piso 3						
	Tábuas verticais / diagonais (cm)				Ripas de fasquio (cm)		
	Largura A	Espessura B	Espaçamento C	Ângulo com a vertical α	Largura D	Espessura E	Espaçamento F
Valor médio (cm)	17,16	3,51	2,53		3,13	1,10	3,72
Desvio padrão (cm)	0,89	0,15	0,68		0,26	0,07	0,30
Coefficiente de variação (%)	5,18	441	27,03		8,16	6,74	8,05

Quadro AP. D.26: Espessura da argamassa de revestimento das paredes de tabique do Piso 1 - Nível 0

Identificação da Parede	Tipo de Parede	Espessura (cm)
PT 4.1	I	1,50
PT 5.1	I	1,30
PT 6.1	I	1,80
PT 8.1	I	1,20
Valor médio (cm)		1,45

Quadro AP. D.27: Espessura da argamassa de revestimento das paredes de tabique do Piso 2 - Nível 1

Identificação da Parede	Tipo de Parede	Espessura (cm)
PT 3.2	E	3,20
PT 2.2	E	2,30
PT 4.2	I	3,00
PT 5.2	E	1,60
PT 6.2	I	1,50
PT 8.2	E	1,80
PT 7.2	I	1,80
PT 9.2	I	1,80
PT 10.2	E	2,50
PT 11.2	I	2,00
Valor médio (cm)		2,15

Quadro AP. D.28: Espessura da argamassa de revestimento das paredes de tabique do Piso 3 – Nível 2

Identificação da Parede	Tipo de Parede	Espessura (cm)
PT 4.3	I	0,80
PT 9.3	I	1,90
PT 2.3	E	1,60
PT 7.3	E	1,50
PT 6.3	I	1,50
PT 10.3	I	1,20
PT 11.3	E	2,00
PT 12.3	I	1,50
PT 13.3	I	2,20
PT 14.3	E	1,80
Valor médio (cm)		1,60

Quadro AP. D.29: Dimensões das paredes de tabique exteriores

Localização	Identificação da PT	Tipo de PT	Piso Identificação (Observações)	Diagonais	Dimensões Gerais				A Área total (m ²)	Razão e1/h
					l (m)	h (m)	e (m)	e1 (m)		
Nível 2	PT 2.3	E0	Piso 3	0	3,29	2,39	0,088	0,0434	7,86	
	PT 7.3	E0	Piso 3 divisa edifício ao lado	0	2,97	2,38	0,075	0,0396	7,07	
	PT 11.3	E0	Piso 3	0	2,77	2,40	0,090	0,0420	6,65	
	PT 14.3	E0	Piso 3 Caixa de escada	0	2,92	4,79	0,010	0,0450	13,99	0,009
Nível 1	PT 3.2	E0	Piso 2 Mista (Tijolo + Tabique)	0	2,85	2,72	0,105	0,0336	7,75	0,012
	PT 5.2	E3	Piso 2	1	5,99	2,76	0,068	0,0433	16,53	0,016
	PT 8.2	E0	Piso 2	0	1,91	2,21	0,060	0,0473	4,22	
	PT 10.2	E0	Piso 2	0	3,11	2,70	0,073	0,0425	8,40	

Legenda (ver Anexo B): l (m): Comprimento livre das paredes; h (m): Altura livre das paredes; e (m): Espessura total das paredes; e1 (m): Espessura das tábuas verticais de madeira.

Quadro AP. D.30: Dimensões dos vãos das paredes de tabique exteriores

Localização	Identificação da PT	Tipo de PT	Piso Identificação (Observações)	Dimensões das Janelas							
				x1 (m)	a21 (m)	h21 (m)	c1 (m)	x21 (m)	a22 (m)	h22 (m)	c2 (m)
Nível 2	PT 2.3	E0	Piso 3		0,50	0,60	0,60		0,50	0,60	
	PT 7.3	E0	Piso 3 divisa edifício ao lado								
	PT 11.3	E0	Piso 3								
	PT 14.3	E0	Piso 3 Caixa de escada								
Nível 1	PT 3.2	E0	Piso 2 Mista (Tijolo + Tabique)								
	PT 5.2	E3	Piso 2	0,72	0,49	0,62	2,02	0,61	0,49	0,62	2,02
	PT 8.2	E0	Piso 2								
	PT 10.2	E0	Piso 2								

Legenda (ver Anexo B): x1 (m): Distância da primeira abertura ao arranque de parede (limite esquerdo); a2 (m): Largura da janela; h2 (m): Altura da janela; c (m): Distância entre janelas; x2 (m): Distância entre aberturas (janelas e portas)

Quadro AP. D.31: Dimensões das paredes de tabique interiores

Localização	Identificação da PT	Tipo de PT	Piso Identificação (Observações)	Diagonais	Dimensões Gerais				A Área total (m ²)	Razão e1/h
					l (m)	h (m)	e (m)	e1 (m)		
Nível 2	PT 4.3	TI1	Piso 3	0	3,25	2,41	0,071	0,026	7,83	0,011
	PT 6.3	TI1	Piso 3	0	3,14	2,39	0,087	0,035	7,50	0,014
	PT 8.3	TI0	Piso 3 Caixa de escadas	0	1,12	2,38	0,075	0,036	2,67	0,015
	PT 9.3	TI1	Piso3 Caixa de escadas	0	2,62	2,41	0,071	0,037	6,31	0,016
	PT 10.3	TI1	Piso 3	0	2,63	2,41	0,072	0,030	6,34	0,012
	PT 12.3	TI5	Piso 3	1	4,22	2,40	0,069	0,031	10,13	0,013
Nível 1	PT 4.2	TI1	Piso 2	1	4,40	2,73	0,105	0,040	12,01	0,015
	PT 6.2	TI2	Piso 2 Acesso às 2 escadas	0	3,00	2,80	0,905	0,040	8,40	0,014
	PT7.2	TI2	Piso 2	0	4,34	2,79	0,118	0,035	12,11	0,013
	PT 9.2	TI1	Piso 2	0	3,20	2,77	0,091	0,036	8,86	0,013
	PT 11.2	TI1	Piso 2	0	3,15	2,70	0,110	0,040	8,51	
Nível 0	PT 4.1	TI4	Piso 1	0	1,10	2,78	0,080	0,038	3,06	0,013
	PT 5.1	TI0	Piso 1	0	2,50	2,77	0,090	0,045	6,93	0,016
	PT 6.1	TI2	Piso 1	0	2,60	2,71	0,100	0,045	7,05	0,017
	PT 8.1	TI4	Piso 1	0	1,76	2,72	0,080	0,041	4,79	0,015
	PT 9.1	TI1	Piso 1	0	5,20	2,77			14,40	0,000

Legenda (ver Anexo B): l (m): Comprimento livre das paredes; h (m): Altura livre das paredes; e (m): Espessura total das paredes; e1 (m): Espessura das tábuas verticais de madeira; Diagonais: Parede com 4 portas duplas (apenas no 1.º tramo é uma parede simples).

Quadro AP. D.32: Dimensões das janelas das paredes de tabique interiores

Localização	Identificação da PT	Tipo de PT	Piso Identificação (Observações)	Vão	Dimensões das Janelas						A Área total (m ²)	A1 Área aberturas (m ²)	Razão A1/A
				x1 (m)	a21 (m)	h21 (m)	c1 (m)	a22 (m)	h22 (m)	c2 (m)			
Nível 2	PT 4.3	TI1	Piso 3	0,40							7,83	1,21	0,154
	PT 6.3	TI1	Piso 3	2,30							7,50	1,41	0,187
	PT 8.3	TI0	Piso 3 Caixa de escadas								2,67		
	PT 9.3	TI1	Piso3 Caixa de escadas	0,00							6,31		
	PT 10.3	TI1	Piso 3	1,84							6,34		
	PT 12.3	TI5	Piso 3	0,75	0,60	0,50	1,76	0,60	0,50	1,66	10,13		
Nível 1	PT 4.2	TI1	Piso 2	1,57							12,01	2,82	0,235
	PT 6.2	TI2	Piso 2 Acesso às 2 escadas	0,00							8,40	3,60	0,429
	PT7.2	TI2	Piso 2	0,20							12,11	3,82	0,315
	PT 9.2	TI1	Piso 2	1,36							8,86		
	PT 11.2	TI1	Piso 2	0,10							8,51		
Nível 0	PT 4.1	TI4	Piso 1	0,27	0,65	0,40	2,05				3,06	0,26	0,085
	PT 5.1	TI0	Piso 1								6,93		
	PT 6.1	TI2	Piso 1	0,75							7,05		
	PT 8.1	TI4	Piso 1	0,49	0,75	0,40	2,05				4,79	0,30	0,063
	PT 9.1	TI1	Piso 1	4,30							14,40		

Legenda (ver Anexo B): x1 (m): Distância da primeira abertura ao arranque de parede (limite esquerdo); a2 (m): Largura da janela; h2 (m): Altura da janela; c (m): Distância entre janelas; x2 (m): Distância entre aberturas (janelas e portas)

Quadro AP. D.33: Dimensões das portas das paredes de tabique interiores

Localização	Identificação da PT	Tipo de PT	Piso Identificação (Observações)	Vão	Dimensões das Portas					A Área total (m ²)	A1 Área aberturas (m ²)	Razão A1/A
				x1 (m)	a11 (m)	h11 (m)	x21 (m)	a11 (m)	h11 (m)			
Nível 2	PT 4.3	TI1	Piso 3	0,40	0,61	1,98				7,83	1,21	0,154
	PT 6.3	TI1	Piso 3	2,30	0,71	1,98				7,50	1,41	0,187
	PT 8.3	TI0	Piso 3 Caixa de escadas							2,67		
	PT 9.3	TI1	Piso3 Caixa de escadas	0,00	0,90	2,41				6,31		
	PT 10.3	TI1	Piso 3	1,84	0,71	1,99				6,34		
	PT 12.3	TI5	Piso 3	0,75	0,72	1,98				10,13		
Nível 1	PT 4.2	TI1	Piso 2	1,57	1,15	2,45				12,01	2,82	0,235
	PT 6.2	TI2	Piso 2 Acesso às 2 escadas	0,00	0,88	2,10	1,26	0,72	2,44	8,40	3,60	0,429
	PT7.2	TI2	Piso 2	0,20	0,74	2,43	0,24	0,83	2,43	12,11	3,82	0,315
	PT 9.2	TI1	Piso 2	1,36	0,64	2,30				8,86		
	PT 11.2	TI1	Piso 2	0,10	1,00					8,51		
Nível 0	PT 4.1	TI4	Piso 1	0,27						3,06	0,26	0,085
	PT 5.1	TI0	Piso 1							6,93		
	PT 6.1	TI2	Piso 1	0,75	0,80	2,60	0,30	0,80	2,60	7,05		
	PT 8.1	TI4	Piso 1	0,49						4,79	0,30	0,063
	PT 9.1	TI1	Piso 1	4,30	0,69	2,52				14,40		

Legenda (ver Anexo B): x1 (m): Distância da primeira abertura ao arranque de parede (limite esquerdo); a1 (m): Largura da porta; h1 (m): Altura da porta; c (m): Distância entre janelas; x2 (m): Distância entre aberturas (janelas e portas)

APÊNDICE E – Resultados do Resistograph® em Pavimentos

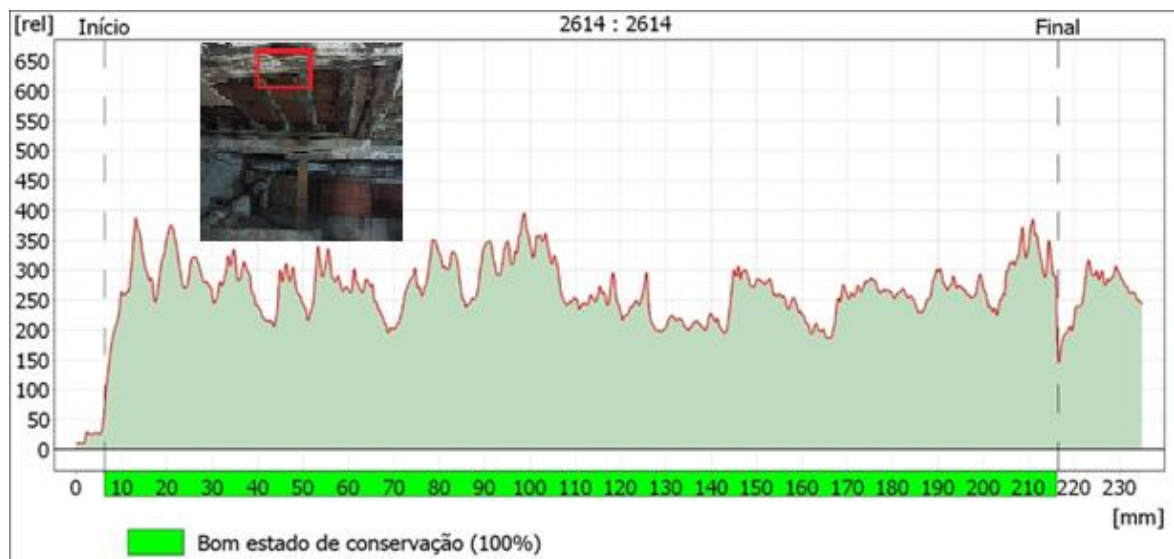


Figura AP.E.1: Pav.1 – R.PAV 2. 1 (b = 13,5 cm; h = 21 cm)

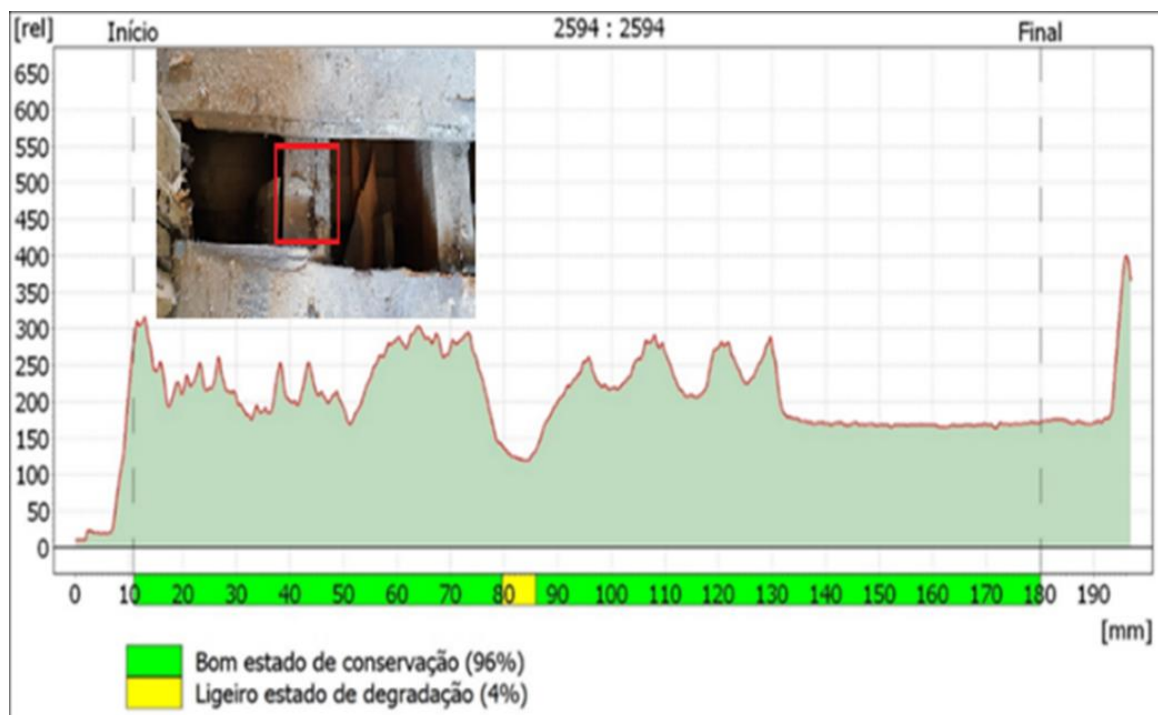


Figura AP.E.2: Pav.3 – R.PAV 1.3 (b = 8 cm; h = 18 cm)

APÊNDICE F – Resultados do Resistograph® em Paredes de Tabique

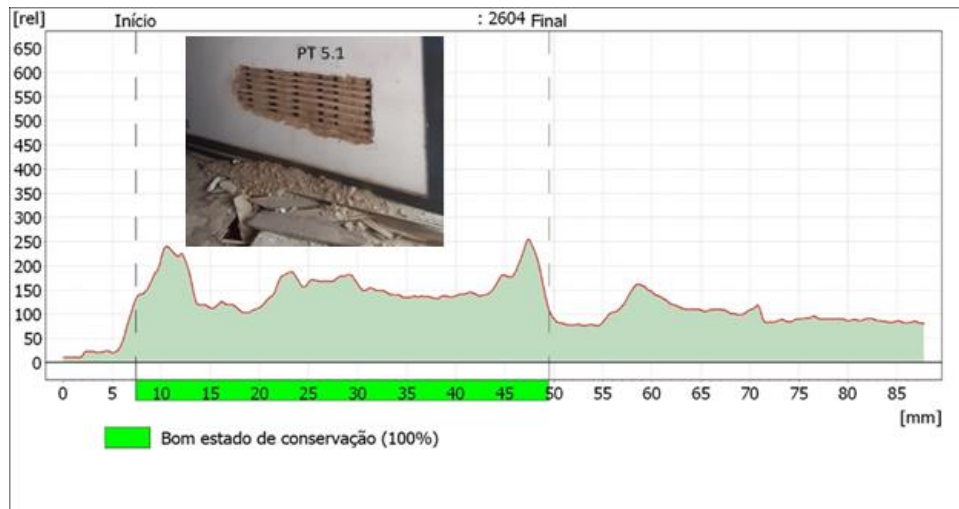


Figura AP.F.1: PT 5.1 (e = 4,54 cm) - Parede de tabique entre piso 1 e piso 2

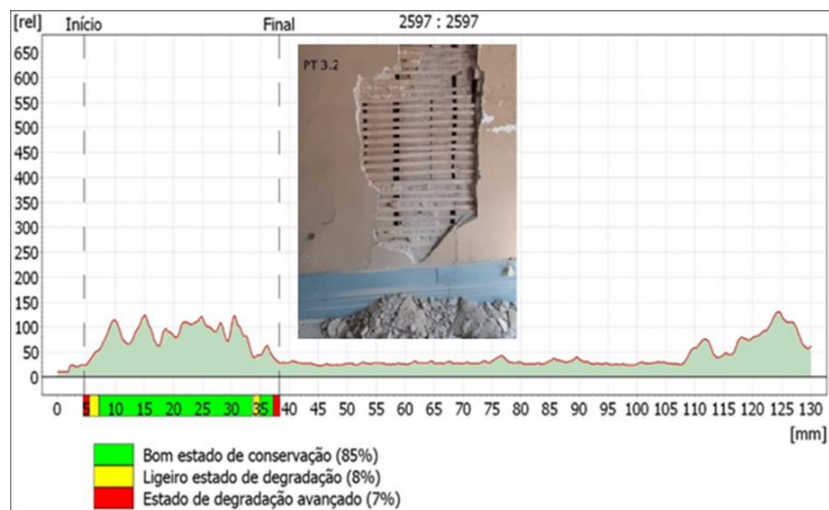


Figura AP.F.2: PT 3.2 (e = 3,36 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3

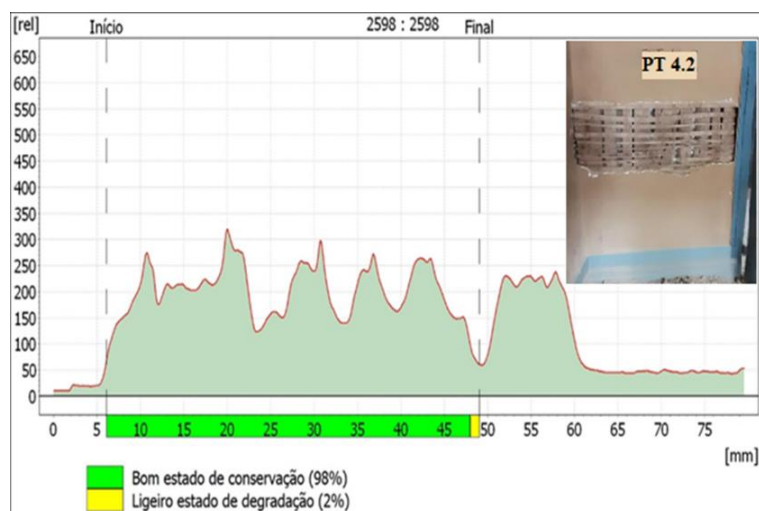


Figura AP.F.3: PT 4.2 (e = 3,99 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3

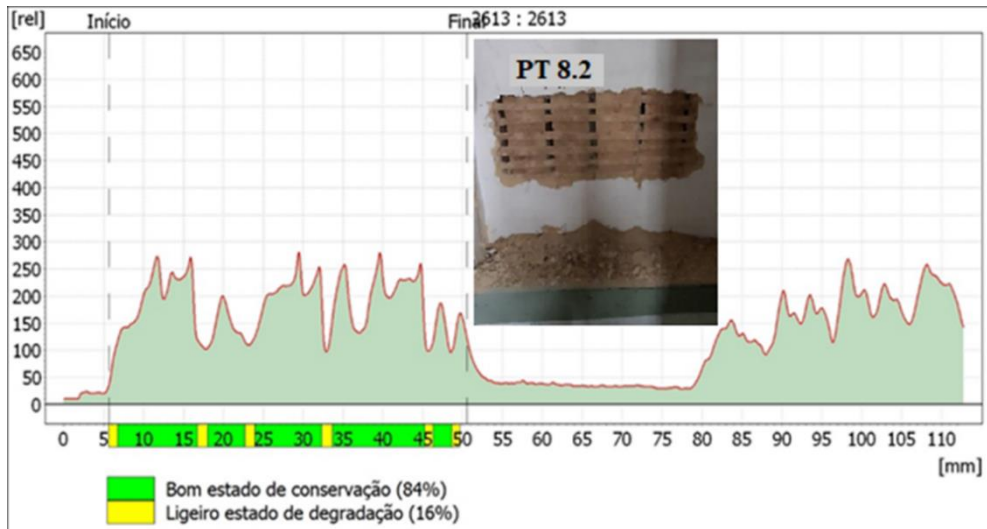


Figura AP.F.4: PT 8.2 (e = 4,73 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3

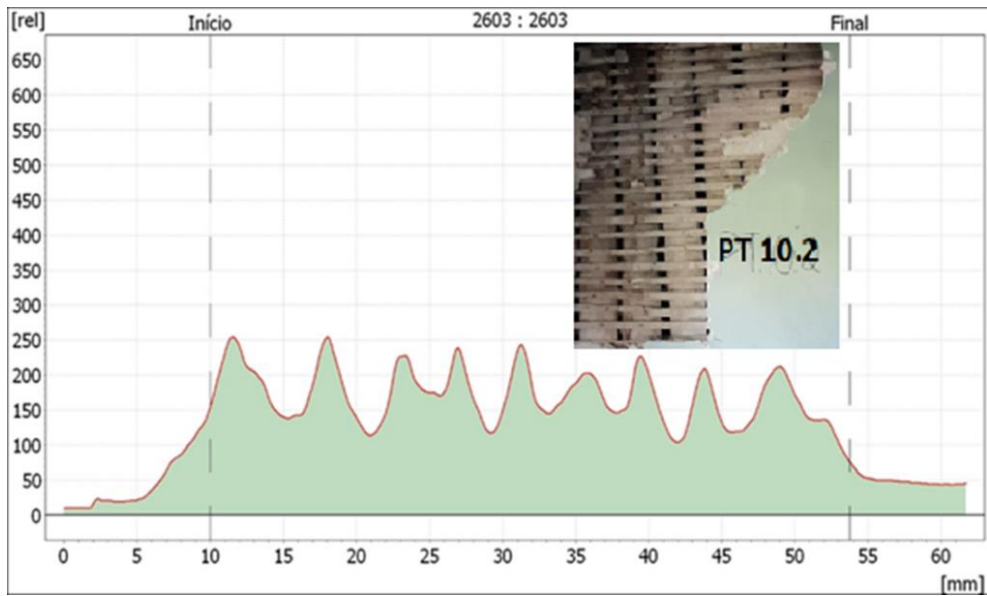


Figura AP.F.5: PT 10.2 (e = 4,25 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3

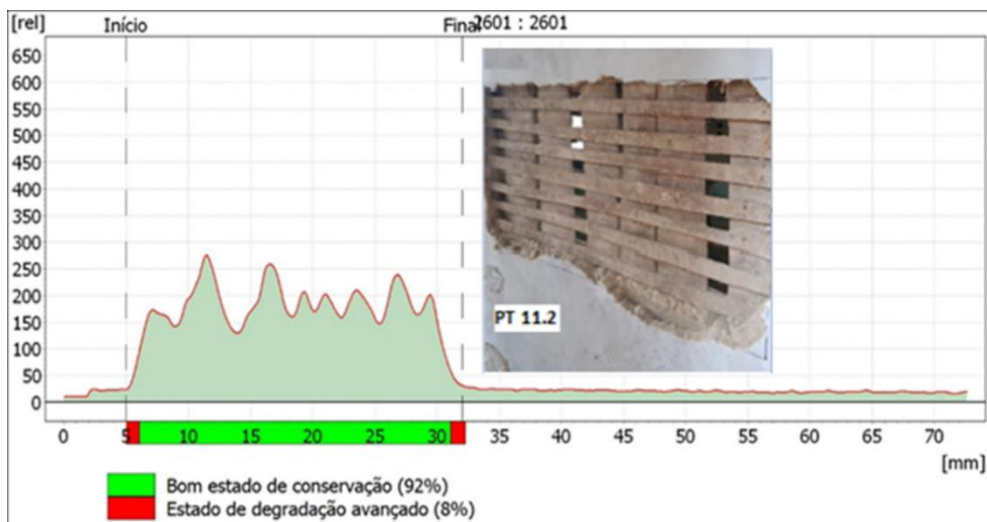


Figura AP.F.6: PT 11.2 (e = 4,20 cm) - Parede de tabique entre piso 2 e piso 3

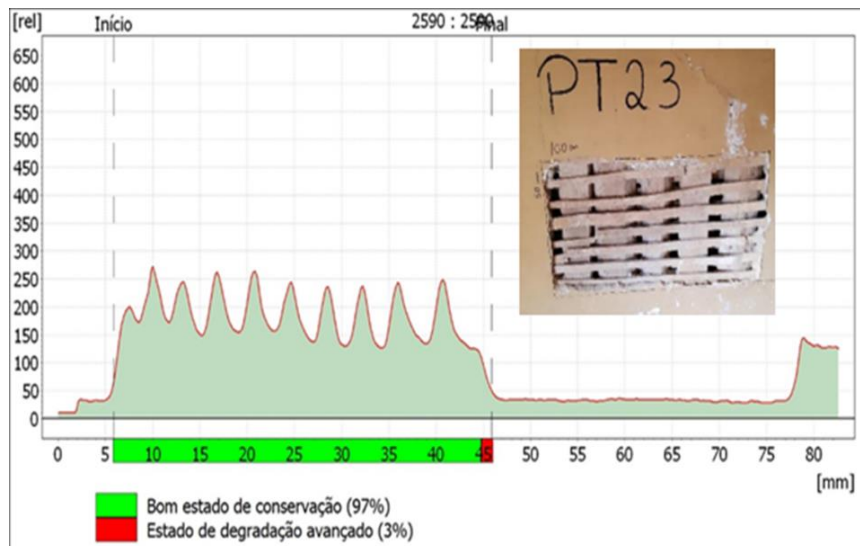


Figura AP. F7: PT 2.3 (e = 4,34 cm) - Parede de tabique entre piso 3 e cobertura

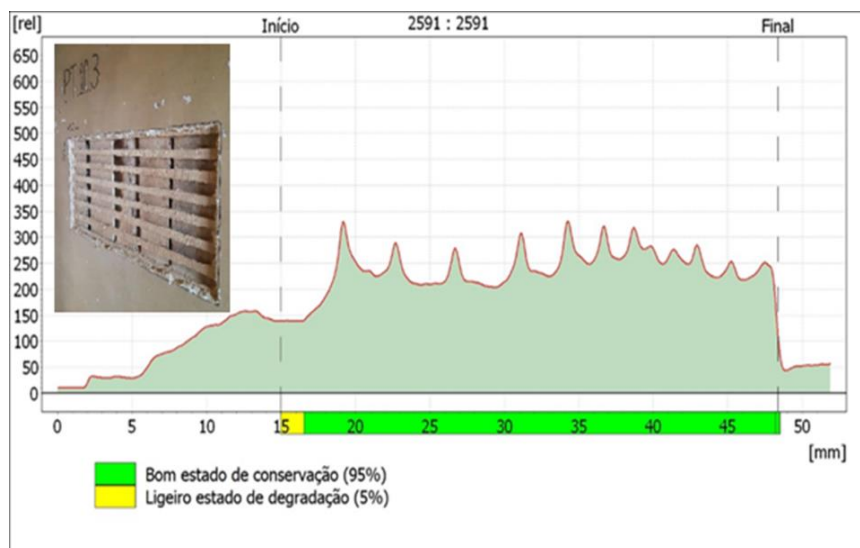


Figura AP.F.8: PT 10.3 (e = 3,00 cm) - Parede de tabique entre piso 3 e cobertura

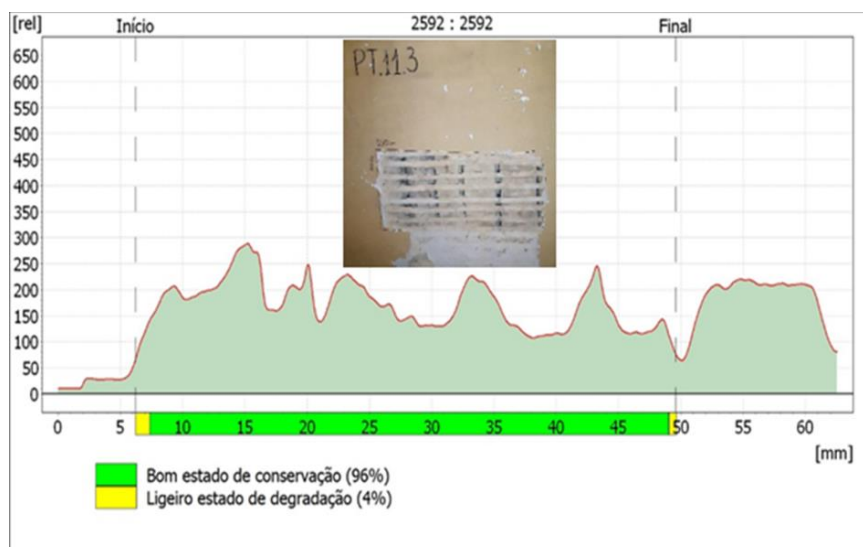


Figura AP.F.9: PT 11.3 (e = 4,20 cm) - Parede de tabique entre piso 3 e cobertura

ANEXOS

ANEXO A – Classificação dos Diversos Padrões Construtivos de PT

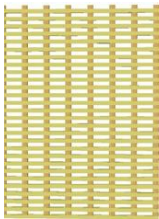

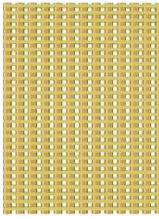

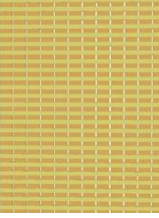







Classificação dos diversos padrões construtivos de parede de tabique				
Tipologia padrão	Designação simplificada	Descrição	Esquema tipo	Fotografia referência
Tipo 1	T1S	Parede com tipologia padrão i, Simples. Parede de construção mais antiga.		
Tipo 2	T2S	Parede com tipologia padrão i, Simples. Transição entre tipo T1S e T2S. Com prevalência de costaneiras e fraca qualidade.		
Tipo 3	T3S	Parede com tipologia padrão i, Simples. Mais recentes. Com cuidado na construção. Tábuas preparadas e com espaçamentos pequenos.		
Tipo 4	T4S	Parede com tipologia padrão i, Simples. Com desenvolvimento curvo.		
Tipo 5	T5D	Parede com tipologia padrão i, Dupla. Ambas as tábuas são verticais.		
Tipo 6	T6D	Parede com tipologia padrão i, Dupla. Fiada de Tábua vertical + fiada de tábua diagonal.		

Figura AN. A.1: Classificação dos diversos padrões construtivos de parede de tabique (adaptado de [8])

ANEXO B – Classificação para Caracterização Geométrica de PT

Classificação para a caracterização geométrica de parede de tabique					
Tipologia padrão	Designação simplificada	Descrição	Esquema tipo	Legenda	
Tipo 0	TI0	Parede interior sem aberturas		l (m)	Comprimento livre das paredes
Tipo 1	TI1	Parede interior com uma porta		h (m)	Altura livre das paredes
Tipo 2	TI2	Parede interior com duas portas		e (m)	Espessura total das paredes
Tipo 3	TI3	Parede interior com três portas		e1 (m)	Espessura das tábuas verticais de madeira
Tipo 4	TI4	Parede interior com uma janela			
Tipo 5	TI5	Parede interior com uma porta e uma janela		x1 (m)	Distância da primeira abertura ao arranque da parede (limite esquerdo)
Tipo 6	TI5	Parede interior com uma porta e uma janela		a1 (m)	Largura da porta
Tipo 6	TI6	Outras paredes interiores			
Tipo 7	TE0	Parede exterior sem aberturas		h1 (m)	Altura da porta
Tipo 8	TE1	Parede exterior com uma porta		x2 (m)	Distância entre portas
Tipo 9	TE2	Parede exterior com uma janela			
Tipo 10	TE3	Parede exterior com duas janelas		a2 (m)	Largura da janela
Tipo 11	TE4	Parede exterior com três ou mais janelas		h2 (m)	Altura da janela
Tipo 12	TE5	Parede exterior com uma porta e quatro janelas		c (m)	Distância entre janelas
Tipo 13	TE6	Outras paredes exteriores			

Figura AN. B.1: Classificação para caracterização geométrica de parede de tabique (adaptado de [46])

ANEXO C – Dados Climáticos de Viseu

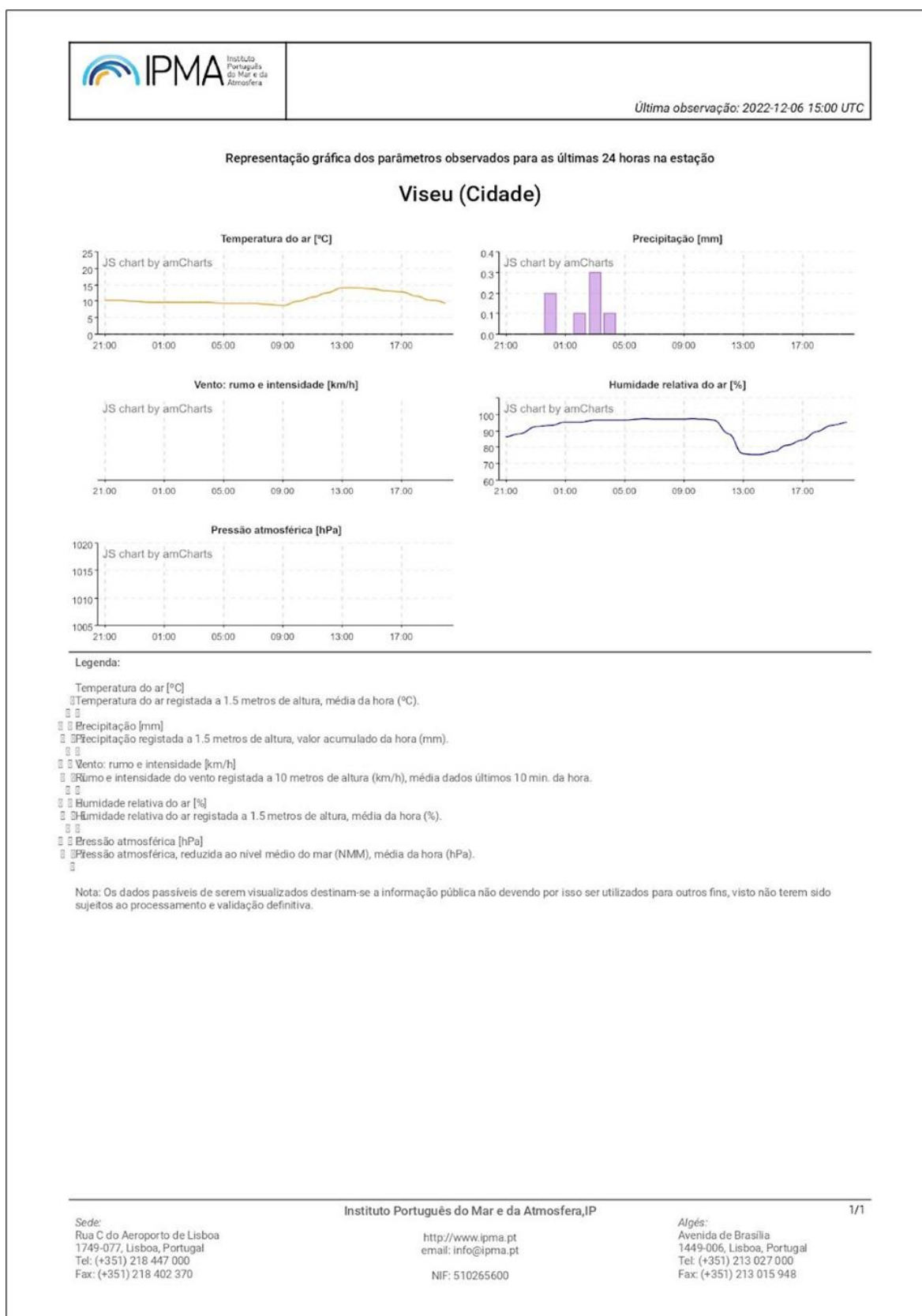


Figura AN. C.1: Dados climáticos de Viseu (IPMA)

