

Avaliação da Segurança de um Edifício Antigo na Baixa do Porto

RICARDO ALEXANDRE MENDES CORREIA

Novembro de 2015

Avaliação da Segurança de um Edifício Antigo na Baixa do Porto

Ricardo Alexandre Mendes Correia

Projeto apresentado ao ISEP

para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Área de Especialização em Estruturas

Porto, 23 de Novembro de 2015

Orientador: Professor Paulo Guedes

Jurí:

Presidente: Professor Carlos Félix

Vogais:

- Professor Paulo Guedes
- Professor Alexandre Costa

Índice Geral

1. Introdução	1
2. Historial sobre Reabilitação Urbana, Modelos Construtivos e Caso Estudo	3
3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo	13
4. Inspeção	29
5. Ensaios	39
6. Avaliação Estrutural	59
7. Conclusões	87
A. Anexos	91

Resumo

COM o presente trabalho pretende-se avaliar a segurança de um elemento estrutural de um edifício antigo (tradicional) da baixa do Porto edificado nos finais do último quartel do século XVIII.

Após uma pequena introdução onde será exposta a estrutura do trabalho, capítulo a capítulo, será feita uma explanação histórica sobre o meio urbano onde o edifício está construído, os métodos construtivos adotados desde 1755 até aos nossos dias, passando pelo historial do próprio edificado.

Passar-se-á de seguida à análise do edifício, apresentando evidências do que eventualmente terá sido construído de base até aos dias de hoje. Será feita uma apresentação dos elementos construtivos que compõe atualmente o edifício, apresentando evidências do estado de cada um, ou seja, será feita um levantamento das patologias evidentes e visíveis a olho nu, recorrendo a métodos expeditos de análise. Também será feito um levantamento dimensional da volumetria, planimetria do edifício e da compartimentação, registando as dimensões dos elementos estruturais e arquitetónicos relevantes para a realização dos respetivos projetos.

Posteriormente passar-se-á para uma exposição dos diversos tipos de ensaios, começando pela apresentação dos métodos disponíveis atualmente para a caracterização física e mecânica dos materiais, seguida da realização dos ensaios, recolha de dados no edificado e proposta de definição dos materiais.

Após a recolha de todos estes elementos, estão reunidas as condições para se passar a uma análise estrutural, onde para estes objetivos, serão aplicados os mais avançados programas de cálculo estrutural existentes na atualidade, suportados em metodologias que analisam não só o elemento mas também a sua interação com os que lhe servem de fronteira acabando-se num todo que é o edifício.

Pretende-se com este estudo estrutural avaliar a segurança de uma parte significativa e representativa do edifício baseado na regulamentação em vigor. A parte a analisar representa o pavimento aplicado na construção.

Finalizar-se-á com a apresentação das conclusões, propondo eventuais ações futuras .

Abstract

THIS study aims to assess the safety of a structural element of an ancient building (Traditional) located at downtown Oporto, which was built at the end of the last quarter of the eighteenth century.

After a short introduction in which will be presented the history of the urban environment where the building is located, will be presented the construction methods adopted since 1755 to the present day, and at last the history of the building.

Afterward, will begin the presentation of the building analysis providing evidences of what eventually have been built since first stone until nowadays. Proceeding with a presentation of constructive elements applied to the building, providing evidence of the state of each, ie, a survey of the pathologies visible to the naked eye using expeditious methods of analysis. Will also be made a dimensional survey of the planimetry of the building as well as of the compartmentalization, noting the structural and architectural elements relevant to the achievement of respective projects.

Subsequently will be presented the various types of trials available today, starting with the methods currently available for the physical and mechanical characterization of materials, followed by carrying out the tests.

After gathering all these elements, are gathered the conditions to start a structural analysis, applying the most advanced programs of structural calculation available today. This work will be supported on methodologies that analyze not only the element but also their interaction with those that are around him, ending in a whole that is the building.

The aim of this study is to evaluate the structural safety of a significant and representative part of the building based on the present regulations. The part which will be analyzed is a small area of the pavement.

It will end with the presentation of conclusions.

Agradecimentos

AQUI está um tema tão vasto que dificilmente caberá numa pequena página A4, ficando certamente muitas pessoas de fora. Desde já as minhas desculpas. Em primeiro lugar, devo colocar os meus pais, sem os quais nada seria possível, porque permitiram a primeira formação académica e um início de vida confortável. Em segundo lugar a minha esposa e filhas, que foram as que sofreram nesta segunda fase de formação.

Em terceiro lugar devo de colocar o ISEP como um todo, porque foi aqui que fiz as formações académicas. Este Mestrado em Estruturas, que eu acrescento Especiais, porque de fato aprendemos a calcular estruturas metálicas, de alvenaria, de madeira, de alumínio, cálculo dinâmico, métodos diferentes de cálculo e atuais (p. e. elementos finitos), revendo alguns antigos como o método de Cross, cálculo de ações sísmicas, ventos, estudo de diversos tipos de fundações, revestimentos de fachadas, reabilitação de estruturas, análise de edificações, hidráulica, entre outros. É um Mestrado que não pretende que sejamos especialistas, mas lança, perfeitamente, as bases que nos permitirão aplicar no dia a dia os conhecimentos adquiridos, permitindo que cada um desenvolva os conhecimentos no sentido que achar por bem. Não devo esquecer os cursos extra mestrado que são ministrados ao longo dos anos, que permitem adquirir competências extra, mas práticas, importantes para utilização no dia a dia. Por exemplo, este relatório foi realizado com o programa LATEX, a formação em AUTOCAD permitiu que elaborasse as plantas, alçados, cortes e pormenores que fazem parte deste projeto e a formação em ROBOT permitiu desenvolver e analisar a estrutura. Por fim, devo realçar a descoberta da biblioteca e do livro em suporte papel, numa era digital. Como sabem, cada vez mais realizamos consultas digitais, temos os livros, regulamentos, decretos de lei, etc., nos nossos computadores sempre disponíveis para consulta. Num desses cursos extra mestrado foi-nos apresentada a biblioteca, não só a digital, mas a física. Acabei por descobrir um mundo esquecido, o do papel, e que utilizei com agrado.

Também, não posso esquecer os amigos e colegas que sempre me ajudaram e incentivaram a concluir esta segunda formação. Muitas vezes a vontade é de desistir. Mas, cá estamos, na reta final. Obrigado.

Índice Texto

1. Introdução	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Organização do Trabalho	1
2. Historial sobre Reabilitação Urbana, Modelos Construtivos e Caso Estudo	3
2.1. Historial sobre a Reabilitação Urbana	3
2.2. Historial sobre Modelos Construtivos	5
2.3. Historial do Caso de Estudo	8
3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo	13
3.1. Rés do chão	13
3.2. Primeiro Andar	17
3.3. Segundo Andar	21
3.4. Desvão da Cobertura / Sótão	23
3.5. Cobertura / Telhado	25
4. Inspeção	29
4.1. Primeiro Andar	29
4.1.1. Anomalia 1	30
4.1.2. Anomalia 2	31
4.1.3. Anomalias 3, 4 e 5	31
4.1.4. Inspeções e ensaios complementares	31
4.2. Segundo Andar	32
4.2.1. Inspeções e ensaios complementares	35
4.3. Desvão Telhado / Cobertura	36
4.3.1. Inspeções e ensaios complementares	38
5. Ensaios	39
5.1. Tipos de Ensaios para Caracterização dos Materiais	39
5.1.1. Identificação da Espécie	39
5.1.2. Propriedade Física / Densidade	40
Pilodyn	40
Resistógrafo	40
5.1.3. Humidade	42
5.1.4. Propriedade Mecânica / Módulo de Elasticidade / Ultra-sons	42
5.1.5. Caracterização do Comportamento / Vibrações	45
5.1.6. Janelas de Inspeção	46

5.1.7.	Níveis	46
5.2.	Ensaio Realizados	47
5.2.1.	Identificação da Espécie	48
5.2.2.	Higrómetro	49
5.2.3.	Pilodyn	51
5.2.4.	Ultra-sons	53
	Soalho	53
	Viga	54
5.2.5.	Conclusões	56
	Soalho	56
	Vigas	56
	Nota	57
6.	Avaliação Estrutural	59
6.1.	Bases de Cálculo	61
6.1.1.	Desempenho da Construção	61
6.1.2.	Classe de Serviço	61
6.1.3.	Propriedades dos Materiais	61
	Estados Limites Utilização	62
	Estados Limites Último	62
	Propriedades Resistentes	63
	Propriedades Rigidez	65
	Densidade = Massa Volúmica	65
6.2.	Ações	65
6.2.1.	Ações Permanentes	65
6.2.2.	Sobrecargas	67
6.2.3.	Combinações de Ações - Estados Limites Últimos	67
6.2.4.	Combinações de Ações - Estados Limites Utilização	68
6.3.	Estudo de Modelos Estruturais	68
6.3.1.	Primeiro Modelo de Cálculo	69
6.3.2.	Segundo Modelo de Cálculo	70
6.3.3.	Terceiro Modelo de Cálculo	72
6.3.4.	Conclusão	73
6.4.	Dimensionamento Estrutural	73
6.4.1.	Estados Limites Últimos Do Soalho	73
	Características geométricas	73
	Flexão Simples	74
	Corte	75
6.4.2.	Estados Limites Últimos Das Vigas	76
	Características geométricas	77
	Flexão	77
	Corte	78
	Instabilidade Lateral-Torsional (Bambeamento)	78

6.4.3. Estados Limites Utilização das Vigas	80
Estado Limite da Deformação	80
7. Conclusões	87
A. Anexos	91
A.1. Reabilitação Urbana	91
A.2. Plantas de Arquitetura Início da Construção	94
A.3. Plantas de Arquitetura Alteração da loja (1949)	102
A.4. Plantas de Arquitetura Levantamento do Existente	104
A.5. Plantas de Localização Anomalias	109
A.6. Plantas da Estrutura Deduzida	113
A.7. Pormenores Estruturais	119
A.8. Plantas de Inspeções e Ensaios	122
A.9. Quadros, Diagramas	127
A.10. Estrutura	129

Índice das Figuras

2.1. Zona Histórica do Porto	5
2.2. Edifício mais alto do mundo BURJ KHALIFA (2010)	6
2.3. Edifício alto na zona histórica do Porto	7
2.4. Evolução do modelo construtivo LOPES (2009)	8
2.5. Planta do R/c	9
2.6. Foto da loja	9
2.7. Planta da loja	10
2.8. Planta do 1º Andar	10
2.9. Planta do 2º Andar	11
3.1. Vista Geral do edifício em estudo	13
3.2. Pormenor da Fachada Sul	14
3.3. Pormenor da Parede da Fachada, interior	14
3.4. Pormenor da Parede da Fachada, exterior	15
3.5. Escada de Quarto de volta	15
3.6. Planta Arquitetura atual do R/c	16
3.7. Estrutura, deduzida do Rés do chão	17
3.8. Pormenor da Parede de Tabique	17
3.9. Esquema da Parede de Tabique; MOREIRA (2009)	18
3.10. Pormenor do Teto do 2º andar	18
3.11. Pormenor do interior do pavimento do 1º piso	19
3.12. Pavimento / Teto do 1º e 2º Andares	19
3.13. Escada de acesso do 1º para 0 2º andar	20
3.14. Planta Arquitetura atualizada do primeiro Andar	20
3.15. Estrutura deduzida do Primeiro Andar	21
3.16. Escada de Caracol numa arrecadação	22
3.17. Planta Arquitetura do Levantamento/Existente do 2º Andar	22
3.18. Estrutura deduzida do Segundo Andar	23
3.19. Planta Arquitetura atualizada do Sótão	24
3.20. Pormenor do Pavimento e Teto do Desvão da Cobertura (Sótão)	24
3.21. Estrutura Deduzida do Sótão	25
3.22. Esquema da Asna de Palladio	25
3.23. Asna da cobertura	26
3.24. Asna	26
3.25. Interior da caixa de escadas	27
3.26. Chaminé	27

3.27. Exemplo das claraboias existentes	28
3.28. Estrutura Telhado	28
4.1. Plantas de localização das anomalias no 1º Andar	30
4.2. Degradação Parede e Soalho	30
4.3. Pormenor do soalho	31
4.4. Zonas de Inspeções e ou Ensaios do 1º andar	32
4.5. Anomalias no 2º Andar	33
4.6. Fissuração	33
4.7. Fissuração	34
4.8. Escada Caracol para acesso do 2º andar ao desvão da cobertura	34
4.9. Escada Leque para acesso do R/c ao 1º andar	35
4.10. Zonas de Inspeções e ou Ensaios do 2º andar	35
4.11. Ligador metálico	36
4.12. Telhado	37
4.13. Anomalias no Desvão Telhado	37
4.14. Zonas de Inspeções e ou Ensaios do Desvão do Telhado	38
4.15. Zonas de Inspeções e ou Ensaios da Estrutura Cobertura	38
5.1. Pilodyn TERRAGES (2015)	40
5.2. Resistógrafo RESIN PROGET (2015)	41
5.3. Ensaio realizado numa viga em laboratório NCREP e INÊS GUEDES PHOTOGRAPHY (2015)	41
5.4. Higrómetro GENERAL ELETRIC (2006)	42
5.5. Aparelho para ensaios com ultra-sons PROCEQ (2015)	43
5.6. Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)	43
5.7. Modo de aplicação das sondas JÚNIOR (2006)	43
5.8. Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)	44
5.9. Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)	44
5.10. Estação sísmica portátil CÓIAS (2006)	45
5.11. Videoscópio GENERAL ELETRIC (2015)	46
5.12. Baroscópio PCE IBÉRICA (2015)	46
5.13. Nível laser QUEBARATO (2015)	47
5.14. Réguas de nível SCANMETAL (2015)	47
5.15. Área de realização dos ensaios no 1º Andar delimitada a tracejado vermelho	48
5.16. Pinho Bravo MADEICENTRO (2015)	48
5.17. Riga MADEICENTRO (2015)	49
5.18. Medição do teor em água	50
5.19. Ábaco de Kollman - Humidade de equilíbrio da madeira	51
5.20. Gráfico da relação entre profundidade e densidade; LOPES/MILITZ/MAI (2010)	52
5.21. Registo fotográfico de uma das medições realizadas	53
5.22. Registo de um dos ensaios de ultra-sons realizados	55
6.1. Área do pavimento do 1º Andar a analisar	60

6.2. Diagramas dos Esforços Atuantes sobre uma tábua do soalho, com vão livre de $L_i = 0,40m$ e vão entre apoios de $0,475 m$	69
6.3. Esquema da estrutura do pavimento, sem tarugos e com as cargas das paredes definidas	70
6.4. Eixos Coordenadas locais e Global	71
6.5. Eixos Coordenadas Método de Cálculo por Elementos Finito	72
6.6. Esquema da estrutura do pavimento, com tarugos	72
6.7. Componentes da flecha, EUROCÓDIGO 5 (2004)	81

Índice das Tabelas

5.1. Ficha para determinação do teor em água (%) - Vigas	49
5.2. Ficha para determinação do teor em água (%) - Soalho	50
5.3. Medição profundidade de penetração da agulha / Densidade - Soalho	52
5.4. Medição profundidade penetração da agulha / Densidade - Viga	53
5.5. Medição ultra-sons - Soalho	54
5.6. Medição ultra-sons - Viga, Perpendicularmente ao Alinhamento das Fibras . . .	55
5.7. Medição ultra-sons - Viga, Paralelamente ao Alinhamento das Fibras	55
5.8. Propriedades da Riga Velha apresentadas pela empresa MADEICENTRO (2015) . .	56
5.9. Propriedades da Riga Nova apresentadas pela empresa MADEICENTRO (2015) . .	57
6.1. Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto, EUROCÓDIGO 0 (2009) . . .	61
6.2. Tabela classe de duração da carga; retirada do EC5, parágrafo 3.1.3, pág. 27 . . .	63
6.3. Valores Característicos da Madeira	63
6.4. Relação entre os valores Característicos de resistência da madeira, LOPES (2012)	64
6.5. Propriedades Rigidez	65
6.6. Tabela Densidade e Módulo Elasticidade	65
6.7. Quadro NA-A1.2(B) - Valores de Cálculo das ações (STR)	67
6.8. Tabela comparativa dos esforços atuantes numa das vigas do pavimento com e sem tarugos	73
6.9. Valores Característicos da Classe de Resistência C16	73
6.10. Ficha técnica do Pinho Bravo fornecida pela MADEICENTRO (2015)	76
6.11. Valores Característicos da Classe de Resistência D70	77
6.12. Propriedades Rigidez para a classe de resistência D70	77
6.13. Propriedades Rigidez	79
6.14. Valores de k_{def} , EUROCÓDIGO 5 (2004)	81
6.15. Valores de $u_{net,fin}$ de acordo com o DAN do EUROCÓDIGO 5 (2004)	82
6.16. Valores de u_{inst} e u_{fin} de acordo com o EUROCÓDIGO 5 (2004)	82

Acrónimos

str	Resistência / Estruturais
k_{def}	Fator de Deformação
K_{ser}	Módulo de Deslizamento
K_{mod}	Fator de Modificação
K_h	Fator de Forma
u_{inst}	Deformação Instantânea das Peças
u_{fin}	Deformação final
u_{creep}	Deformação por fluência dos materiais
γ_m	Coefficiente parcial de segurança
$f_{m,k}$	Flexão paralela ao fio
$f_{t,0,k}$	Tração paralela ao fio
$f_{t,90,k}$	Tração perpendicular ao fio
$f_{c,0,k}$	Compressão paralela ao fio
$f_{c,90,k}$	Compressão perpendicular ao fio
$f_{v,k}$	Corte
$G_{0,05}$	Módulo de distorção 5º percentil
$E_{0,05}$	Módulo de elasticidade 5º percentil
q_k	Carga Uniformemente Distribuída
E_d	Valor de cálculo do efeito das ações
C_d	Valor nominal ou uma função dos valores de cálculo de certas propriedades dos materiais
R_d	Valor de cálculo correspondente ao valor limite do critério de utilização
I_z	Momento de inércia (eixo fraco z)
I_{tor}	Momento de inércia torsional
l_{ef}	Comprimento de encurvadura

Índice das Tabelas

CRUARB Comissariado para a Renovação Urbana da Área Ribeira, Barredo

SRU Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense, S. A.

ARU Área de Reabilitação Urbana

RGEU Regulamento Geral das Edificações Urbanas

1. Introdução

1.1. Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo consolidar e desenvolver os conhecimentos adquiridos no mestrado de estruturas de engenharia civil. Por este motivo o presente trabalho consiste na avaliação da segurança de uma área específica de um edifício, cujos métodos construtivos já não se aplicam correntemente e que já tem um período de vida útil superior a um século.

Neste capítulo pretende-se expor as obrigações que um estudo deste tipo acarreta e apresentar a estrutura do trabalho a realizar. Para se proceder à reabilitação do edifício mantém-se a estrutura existente, preparando-a para as solicitações a que está e irá ser sujeito tendo como base a legislação e regulamentação vigente bem como com o prolongamento do período de vida útil do conjunto. Também se irá analisar as condições mecânicas e físicas dos materiais aplicados na estrutura do edifício, começando por fazer um levantamento das patologias existentes, suas causas e possível ação corretiva. Além de se proceder ao levantamento da compartimentação existente, baseada em elementos históricos e na recolha de dados no edifício atual, será feita uma compatibilização entre os elementos recolhidos tendo como objetivo deduzir uma possível estrutura.

1.2. Organização do Trabalho

PARA realizar este projeto foi organizado uma estrutura de capítulos, seções e parágrafos, que permitirá obter dados sucessivamente e cumulativamente, culminando a formulação de hipóteses retiradas do trabalho realizado e ações futuras com vista à reabilitação do edifício. Esse caminho será exposto nos próximos parágrafos.

No *Capítulo 1* realizar-se-á uma apresentação do trabalho, definindo os objetivos, metas e implicações associadas ao pretendido, finalizando com a exposição estrutura do trabalho.

No *Capítulo 2* será feita uma pequena exposição histórica da reabilitação urbana na cidade do Porto, dos métodos construtivos utilizados desde o século dezoito até à atualidade, terminando com a apresentação do histórico da própria edificação. No histórico do edifício será feita a apresentação dos elementos recolhidos sobre esta edificação, quer nas entidades oficiais quer particulares, tendo como objetivo apresentar o levantamento arquitetónico do edifício (Plantas, alçados, cortes) ao longo da sua vida útil.

No *Capítulo 3* será apresentado o caso de estudo, expondo as soluções construtivas aplicadas, começando pelas fachadas, pavimentos, paredes interiores, escadas e cobertura, fazendo-se o levantamento geométrico do edifício para realizar o projeto arquitetónico. Em simultâneo será feita a recolha dos elementos necessários para deduzir uma estrutura da edificação bem como a pormenorização dos elementos estruturais.

1. Introdução

No *Capítulo 4* pretende-se realizar a inspeção dos elementos relevantes da edificação, identificando patologias e anomalias existentes, propondo inspeções e ensaios a realizar.

No *Capítulo 5* começar-se-á por apresentar os métodos não destrutivos existentes para caracterizar física e mecanicamente os materiais, passando para a definição de um programa de ensaios a realizar no local e eventualmente em laboratório. Após o qual se avançará com a realização no local dos ensaios propriamente ditos. Com os elementos recolhidos passar-se-á para a fase de tratamento dos dados, culminando com a definição dos materiais.

No *Capítulo 6* será definido o modelo estrutural o qual servirá de base para a realização dos cálculos dimensionais. Com estes cálculos realizados poderemos tirar ilações sobre o procedimento a aplicar no edifício, a sua demolição ou a sua reabilitação.

No *Capítulo 7* serão apresentadas as conclusões que se podem retirar do trabalho realizado.

Na *Bibliografia* apresentar-se-ão as referências bibliográficas de todos os documentos que foram analisados e estudados para consolidar o presente trabalho.

Por fim nos *Anexos* serão apresentados os desenhos e pormenores com a dimensão da folha do presente documento para que possam ser analisados com mais detalhe.

2. Historial sobre Reabilitação Urbana, Modelos Construtivos e Caso Estudo

O que se entende por reabilitação urbana? Na CARTA DE LISBOA (1995) está definida da seguinte forma:

É uma estratégia de gestão urbana que procura requalificar a cidade existente através de intervenções múltiplas destinadas a valorizar as potencialidades sociais, económicas e funcionais a fim de melhorar a qualidade de vida das populações residentes; isso exige o melhoramento das condições físicas do parque construído, pela sua reabilitação e instalação de equipamentos, infra-estruturas, espaços públicos, mantendo a identidade e as estruturas e as características da área da cidade a que dizem respeito.

E conseqüentemente o que se entende por reabilitação de um edifício? Do mesmo autor CARTA DE LISBOA (1995):

Obras que têm por fim a recuperação e beneficiação de uma construção, resolvendo as anomalias construtivas, funcionais, higiénicas e de segurança acumuladas ao longo dos anos, procedendo a uma modernização que melhore o seu desempenho até próximo dos níveis atuais de exigência.

2.1. Historial sobre a Reabilitação Urbana

Com a revolução industrial as cidades sofreram uma explosão demográfica e económica cujas implicações ao nível habitacional foram bastante significativas. A indústria necessitava de mão de obra que até há data estava nas áreas agrícolas praticando uma agricultura de subsistência. Para colmatar esta necessidade a indústria dava melhores condições, normalmente económicas que com o tempo evoluíram para questões sociais, habitacionais, urbanísticas e educacionais.

Ao mesmo tempo as cidades tiveram de se preparar para as exigentes necessidades sanitárias, de alimentação, distribuição de eletricidade, água, gás, recolha de resíduos e com a sua expansão as implicações ao nível dos transportes aumentaram proporcionalmente. As cidades até há data delimitadas por meios de locomoção animal também tiveram de se adaptar às exigentes necessidades dos meios de locomoção novos protagonizados pelos comboios, automóveis e camiões.

Por fim, com a construção de cidades cada vez maiores surgiu a necessidade de criar espaços públicos para lazer das populações e permitir atividades de diversos tipos.

Este crescimento exponencial implicava a destruição do antigo tecido urbano ou a expansão da cidade para lá deste, mantendo-o como património histórico.

2. *Historial sobre Reabilitação Urbana, Modelos Construtivos e Caso Estudo*

As necessidades das cidades que levaram ao seu crescimento desregrado, obrigaram os intervenientes a pensar a cidade não como um espaço para inserir a mão-de-obra necessária para as indústrias, mas como um espaço urbano. Como consequência a partir do início do século XX começa-se a falar do conceito de espaço urbano e do património habitacional, surgindo em 1933 a Carta de Atenas, a qual não é mais do que um manifesto urbanístico resultante do IV Congresso Internacional de Arquitetura Moderna (CIAM), realizado em Atenas em 1933. Neste congresso surgiram mais conceitos novos, por exemplo, o de que toda a propriedade de todo o solo urbano da cidade pertence à municipalidade, sendo, portanto público. Define ainda o património como um testemunho do passado, devendo ser respeitado pelo seu valor histórico ou sentimental e por sua virtude plástica.

A revolução industrial apareceu muito tardiamente na cidade do porto, mais propriamente na segunda metade do século XIX. De acordo com FALCÃO (2000) "após o triunfo liberal (1834), o Porto, que era uma cidade voltada para o rio, vai assistir a uma mudança na orientação do seu desenvolvimento urbano, virando-se para o mar...", continuando "...no fim do século XIX a cidade, com o seu crescimento económico e populacional tentava mostrar o seu dinamismo mediante projetos e realizações urbanísticas, à semelhança do que se passava nas grandes... cidades.

Em 1934 é publicado o Decreto n.º 240802 que obrigava à elaboração de planos de urbanização até 1939. A Câmara Municipal do Porto cria um Gabinete de Estudo com vista a cumprir com o pretendido. Em 1962 surge o primeiro Plano Diretor da Cidade da autoria de Auzelle.

Nos finais da década de 60, devido a diversas polémicas surgidas pelo Plano de Auzelle, nasceria uma Comissão Municipal, que por sua vez esteve na origem do Comissariado para a Renovação Urbana da Área Ribeira, Barredo (CRUARB). Em 1987 surge o Plano Geral de Urbanização da autoria de Duarte Castelo Branco que institui um conceito novo o de que a cidade do Porto faz parte de "...todo o sistema estrutural da Área Metropolitana". Por fim em 1993 surge o Plano Diretor Municipal em vigor.

Relativamente à zona histórica onde está inserido o edifício alvo do presente trabalho, regista-se que após o 25 de Abril de 1974 até à atualidade surge uma nova mudança no Porto, começa a perder população. A geração emergente do pós 1974 associada às diversas políticas de arrendamento adotadas foi obrigada a uma deslocalização para edificações mais modernas e que respondam aos seus anseios. Mais, a cidade deixou de ser centralizadora de uma área metropolitana, e não só, para se centralizar nela própria.

Com a classificação de Património da Humanidade, o centro histórico do Porto, viu reconhecido os esforços introduzidos através do CRUARB. No entanto, em 2004 o governo através do decreto-lei n.º 104/2004 permite aos municípios a "... possibilidade de constituírem sociedades de reabilitação urbana às quais são atribuídos poderes de autoridade e de polícia administrativa como os de expropriação e de licenciamento. O segundo princípio é o da necessidade de conceder aos poderes públicos meios efetivos de intervenção. Para tanto, são criadas as referidas sociedades de reabilitação urbana, instrumento empresarial por via do qual se promoverá, mediante decisão dos órgãos dos municípios, o procedimento de reabilitação urbana. "Com esta atuação o governo pretende evitar..." a degradação das condições de habitabilidade, de salubridade, de estética e de segurança de significativas áreas urbanas do País impondo uma intervenção do Estado tendente a inverter a respectiva evolução. A par das áreas críticas de recuperação e

reconversão urbanística, conceito legalmente já definido, merecem uma atenção particular as zonas urbanas históricas, cujas conservação, recuperação e readaptação constituem um verdadeiro imperativo nacional ...“. No Porto surge a PORTO VIVO, Sociedade de Reabilitação Urbana da Baixa Portuense, S. A. (SRU).

Por sua vez a Câmara Municipal do Porto em 2012 encarrega a SRU de proceder à elaboração dos projetos de delimitação das Área de Reabilitação Urbana (ARU)'s, sendo que a primeira ARU a ser criada foi a do Centro Histórico do Porto conforme definida na figura 2.1, que poderá ser visualizada em tamanho A4 no anexo A.1 na página 91.

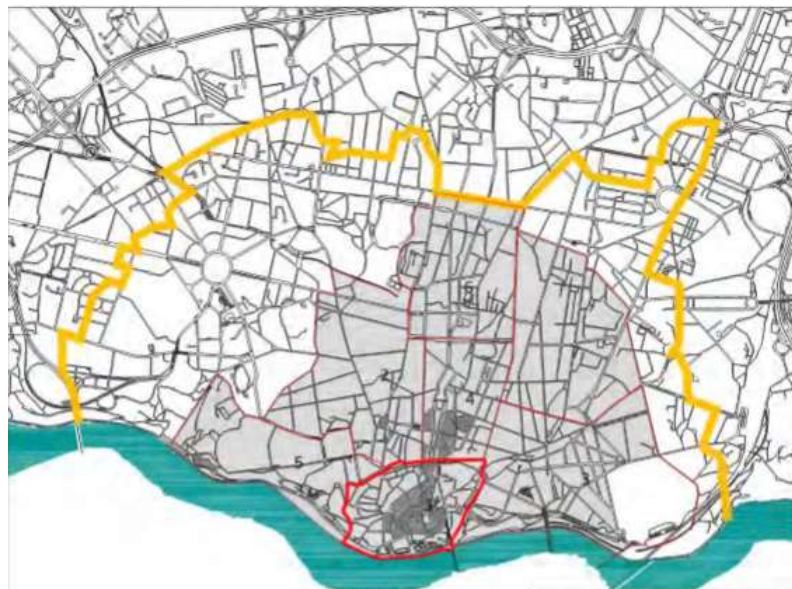


Figura 2.1.: Zona Histórica do Porto

Este organismo caracteriza perfeitamente o estado do parque habitacional onde está inserido o n/edifício, PORTO VIVO (2012) ”... no Centro Histórico do Porto, com uma dimensão territorial de 49 hectares e com cerca de 1800 prédios, 34% do edificado encontra-se em mau ou muito mau estado de conservação, necessitando de intervenções muito profundas, e outros 51% requerem pequenas e médias reparações (dados de 2010) ...“.

2.2. **Historial sobre Modelos Construtivos**

No presente capítulo far-se-á uma pequena explanação sobre os diversos modelos adotados para construção de edifícios.

Os edifícios existentes em Portugal, poderão ser enquadrados em dois grandes grupos distintos, em função dos materiais empregues na sua construção:

- Tipo Construtivo Tradicional - uso de materiais naturais tais como a madeira, pedra, areia, barro, cal e do ferro forjado.
- Tipo Construtivo Moderno - com o advento da revolução industrial começam a surgir materiais novos saídos da industria, sendo os mais relevantes o cimento e o aço, não esquecendo

2. *Historial sobre Reabilitação Urbana, Modelos Construtivos e Caso Estudo*

as tintas, tijolos, argamassas de cimento, betão, cerâmicos, entre muitos outros que estão a surgir no dia a dia.

Com a construção moderna surgem edifícios com capacidades dimensionais impressionantes, veja-se o caso mais recente do mais alto edifício do mundo o Burj Khalifa Bin Zayid apresentado na figura 2.2, localizado no Dubai, que os materiais naturais não permitem.



Figura 2.2.: Edifício mais alto do mundo BURJ KHALIFA (2010)

Na construção tradicional poderá ver-se na figura 2.3 um edifício de 8 pisos localizado na zona mais antiga do Porto, na esquina da Rua da Fonte Taurina com a Praça da Ribeira. Este exemplo coloca-o num patamar em que terá poucos concorrentes, mas regista-se que a área de implantação é típica da construção tradicional, a largura é imposta pelas vigas de madeira dos pavimentos, 7 a 8 metros no máximo.



Figura 2.3.: Edifício alto na zona histórica do Porto

As construções modernas obrigaram a uma série enorme de regulamentações e especializações que aplicadas aos edifícios tradicionais podem comprometer muito a sua reabilitação.

Em Portugal houve um evento que teve implicações nos métodos construtivos tradicionais aplicados antes e depois dele, o terremoto de 1755. Como consequência surgiu o modelo designado como Edifício Pombalino que posteriormente perdeu por completo o antigo rigor construtivo regredindo para o Edifício Gaioleiro; na figura 2.4 de LOPES (2009) podemos ver a evolução dos modelos até ao início da construção moderna, que poderá ser analisado com mais detalhe no anexo A.1.

No Porto as construções do tipo Pombalino ou Gaioleiro não são as mais comuns, visto não estarmos numa zona sísmica e os efeitos do terramoto de 1755 não terem tido o impacto que tiveram em Lisboa. Normalmente estamos perante edifícios cujas paredes das fachadas são as resistentes, constituídas por alvenaria de pedra. Interiormente o material estrutural por excelência passa a ser a madeira. A estrutura dos pavimentos é formada por um vigamento e pelos soalhos, tendo as vigas normalmente secção retangular ou em forma do tronco de madeira (roliça), aplicando travamentos transversais designados por tarugos. As coberturas inclinadas tem uma estrutura constituída por asnas de madeira que suportariam telhas cerâmicas. Para definir os compartimentos constroem-se paredes de tabique.

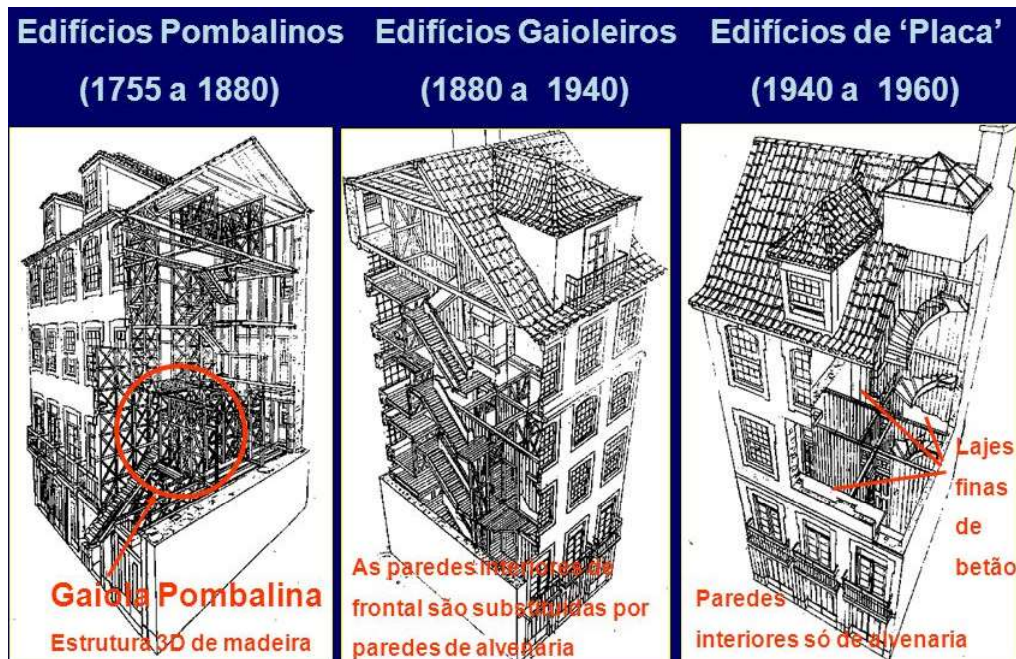


Figura 2.4.: Evolução do modelo construtivo LOPES (2009)

2.3. Historial do Caso de Estudo

DA primeira pedra à atualidade. Numa edificação antiga a realização do histórico da própria construção é relevante porque poderá auxiliar na definição da estrutura do edifício, bem como das alterações a que poderá ter sido submetido e que poderão representar pontos sensíveis a ter em conta na análise estrutural. Na posse dos elementos históricos deverá fazer-se a compatibilização com o levantamento do edifício tirando-se as devidas ilações. Para já estamos a falar num levantamento visual registando unicamente a compartimentação, fachadas, cobertura e alguns pormenores arquitetónicos relevantes, tais como escadas, pátios, claraboias, lanternins, funções a que eventualmente se destinariam os compartimentos e materiais utilizados. Normalmente detetam-se e verificam-se disparidades substanciais entre os registos históricos e a construção atual. A recolha dos elementos também poderá ser um bom auxiliar para a elaboração dos projetos de arquitetura, estruturais e de algumas especialidades.

Usualmente a recolha dos elementos que possam definir a construção em causa poderá realizar-se em três locais ou fontes:

1. Recolha nos arquivos oficiais, Câmaras Municipais, Instituto de Gestão e Alienação do Património Habitacional do Estado (IGAPHE), Arquivo Distrital do Porto, etc.
2. Recolha nos proprietários atuais, anteriores e na memória das populações vizinhas.
3. Recolha na edificação (levantamento).

A recolha de dados sobre o edifício nos arquivos oficiais é basicamente o único grande apoio que os projetistas poderão ter. Nos particulares (proprietários, vizinhos) os registos são muito parcos, limitando-se ao aspeto verbal, que também não deve de ser menosprezado porque podem

obter-se informações relevantes. No caso do presente estudo os proprietários atuais entregaram as plantas, alçados e cortes que serão apresentados nos próximos parágrafos.

A figura 2.5 refere-se à planta do R/c que presume-se corresponde há data da construção do prédio. Poderá ser vista com mais pormenor no anexo A.2 na página 94.

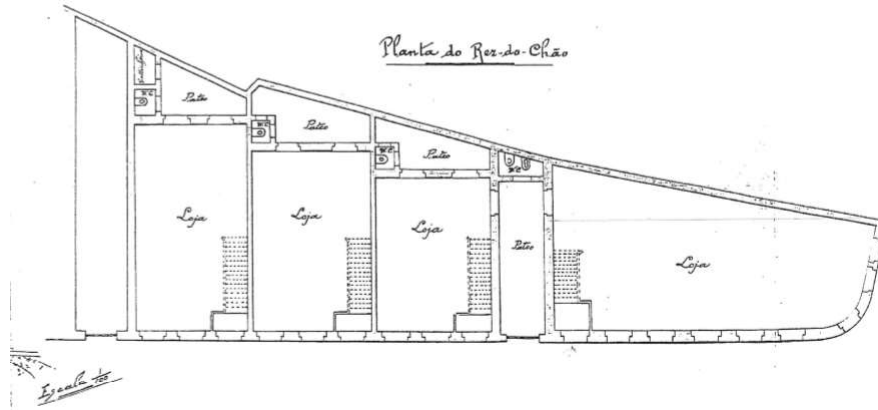


Figura 2.5.: Planta do R/c; Primeiras plantas da construção datadas do final do século XVIII

Através de uma comparação entre a planta original da loja do R/c que fica localizada à direita do pátio e a atualidade constata-se que a mesma foi subdividida em 3 lojas, sendo que a loja que tem duas frentes foi alterada conforme se pode verificar na figura 2.7 ou com mais detalhe no anexo A.4 na página 104. Outra ilação que se pode tirar tem a ver com o aproveitamento do pé direito. É interessante constatar que aproveitando o pé direito inicial construíram uma sobreloja, com vãos para o exterior conforme se pode verificar na figura 2.7 ou no anexo A.4 na página 104.

Através do levantamento fotográfico da fachada que registado na figura 2.6 constata-se que também foi construída uma cave para armazenagem.



Figura 2.6.: Foto atual onde se pode ver um dos espaços comerciais com duas frentes, uma para a Rua José Falcão a poente e outra para a Rua da Fábrica a sul

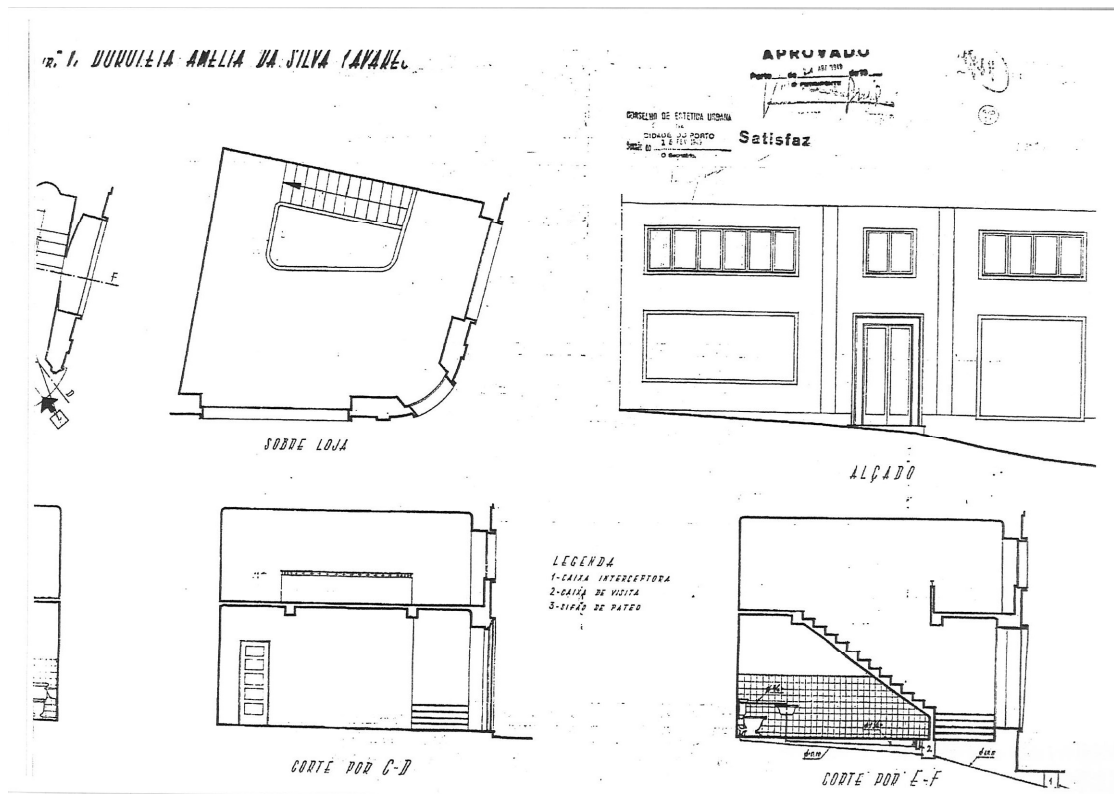


Figura 2.7.: Planta ao nível do R/c do espaço comercial com duas frentes; datada de 1949

Só neste primeiro nível já foram detetadas várias dúvidas pertinentes para a análise estrutural e para a elaboração da arquitetura. Que estruturas adicionais foram construídas para sustentar o aumento dos vãos exteriores, quer em quantidade quer em dimensão? E para o aumento do número de pisos? Em que condições foram executados? Como estão interligadas com a estrutura do edifício? Como foram efetuadas as fundações para construir a cave? Para obter uma resposta para estas questões, é necessário realizar sondagens, que implicam a remoção de revestimentos e alteração da habitabilidade do espaço comercial o que para já não é viável. Por este motivo, neste projeto não serão analisadas as alterações ao nível do rés-do-chão.

Avançando para o primeiro piso, figura 2.8, que poderá ser vista com mais pormenor no anexo A.2 na página 94.

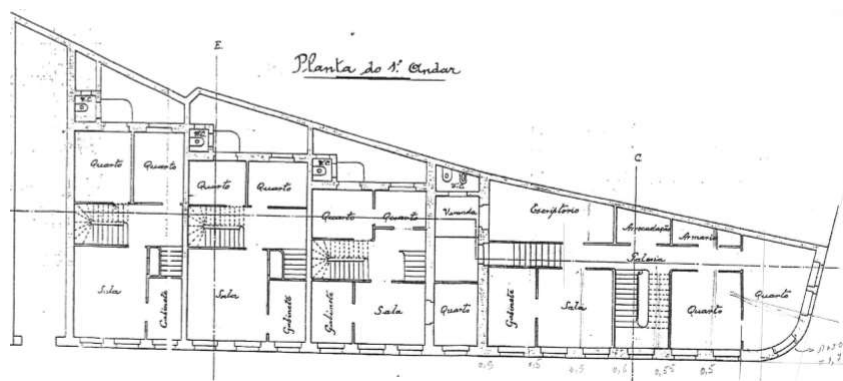


Figura 2.8.: Planta do 1º Andar; Primeiras plantas da construção datadas do final do século XVIII

ATENÇÃO: Aproveita-se para referir que o presente edifício apresenta quatro vivendas unifamiliares em banda. No entanto o atual proprietário só pretende analisar o edifício de duas frentes principais com acesso direto aos arruamentos públicos.

No primeiro andar as alterações já são de menor vulto, não existem alterações nas paredes mestras, mas existem na estrutura de madeira.

Na próxima figura apresentamos a planta do segundo piso, figura 2.9, que poderá ser vista com mais pormenor no anexo A.2 na página 94.

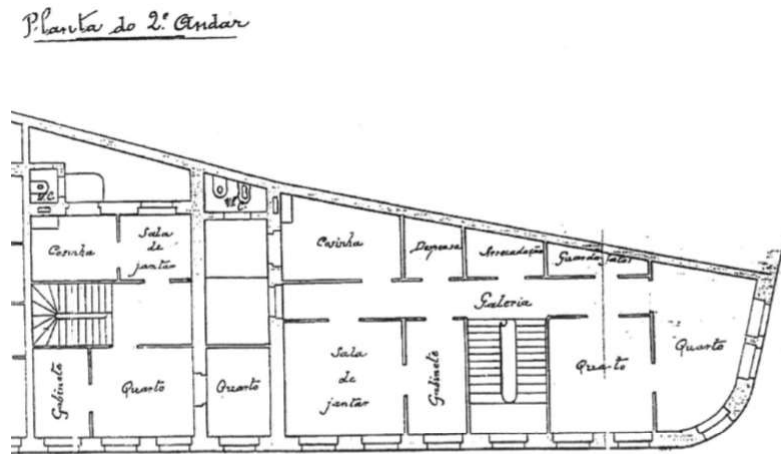


Figura 2.9.: Planta do 2º Andar; primeiras plantas detetadas

Infelizmente, não existem plantas das águas-furtadas. Este nível sofreu alterações significativas, devido a ter passado de uma área não acessível para habitacional, aproveitando o desvão do telhado. Mais uma vez muitas interrogações se colocam no espírito do projetista porque não existem reforços visíveis na estrutura, obrigando a uma análise tendo em conta esta sobrecarga.

Concluindo, com a realização do histórico da construção obteve-se os elementos básicos para se elaborar o projeto de arquitetura.

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

No presente capítulo serão recolhidos os elementos necessários para definir, fazer e apresentar os projetos de arquitetura e estrutura de cada piso do edifício apresentado na figura infra.



Figura 3.1.: Vista Geral do edifício em estudo

3.1. Rés do chão

CONFORME já foi referido na página 11 o presente estudo não analisará este nível na sua totalidade mas somente o compartimento onde está inserida a entrada, hall e a escada de acesso deste piso para o primeiro andar.

No presente caso as paredes das fachadas são paredes mestras porque acumulam a função resistente com a função de proteção contra os agentes climáticos e as ações externas. Neste grupo incluiremos as duas paredes que ficam faceadas para a Rua de José Falcão e para a Rua da Fábrica, designadas por fachadas de rua, e as fachadas que confinam com as edificações vizinhas, designadas por fachadas de meação. Uma destas fachadas de meação também é de empena.

O presente edifício é composto por um conjunto de vivendas unifamiliares em banda, em que o rés-do-chão é um espaço comercial; esta característica arquitetónica é relevante para o estudo estrutural, porque duas das fachadas são contínuas, não esquecendo que a empena nascente recebe cargas de dois edifícios, assim como a parede de meação a norte.

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

As paredes de alvenaria podem classificar-se quanto ao tipo de materiais utilizados e quanto ao método utilizado na sua construção. No primeiro caso dá-se relevância ao material utilizado na construção das unidades e seu modo de assentamento. Também é fundamental analisar com cuidado a argamassa utilizado no assentamento das unidades bem como o ligante utilizado; as unidades de alvenaria também podem ser assentes com junta seca, ou seja, sem argamassa.

Na presente construção a qualidade das paredes mestras foi diminuindo, de baixo para cima. As paredes mestras, desde o piso térreo até à cobertura, são compostas por alvenaria de pedra granítica de aparelhamento médio, em que só os cunhais, soleiras, cintas, padieiras e ombreiras são de pedra talhada, sendo o restante constituído por pedra irregular, CÓIAS (2006).



Figura 3.2.: Pormenor da Fachada Sul, onde podemos ver a pedra trabalhada à vista nas ombreiras dos vãos e cunhal entre as fachadas sul e poente

Na cobertura já estamos perante uma classificação diferente, alvenaria ordinária, porque é constituída por unidades graníticas irregulares assentes com argamassa, dispostas em paramento, revestidas exteriormente e travadas com material miúdo conforme se poder ver nas figuras 3.3. Esta mudança ocorre porque os esforços a que a parede está sujeita são inferiores mantendo a capacidade de proteção contra o meios meios atmosféricos e arquitetónica.



Figura 3.3.: Pormenor da Parede da Fachada no nível do desvão da cobertura



Figura 3.4.: Pormenor da Parede da Fachada no nível do desvão da cobertura, referida na 3.3 mas pelo exterior

Nos edifícios deste tipo as escadas não são um elemento arquitetónico de especial relevo, limitando-se à sua função de ligação entre pisos. No rés do chão para acesso ao primeiro andar temos uma escada com dois tramos retos ligados por um quarto de volta, também designada por escada de leque conforme se pode ver na figura 3.5. Esta escada não tem patamar intermédio de descanso entre os lanços retos.



Figura 3.5.: Escada de Quarto de volta

Estas escadas estão inseridas no espaço livre do edifício, motivo pelo qual são designadas por escadas livres. Em contraposição com as escadas de caixa que são construídas hoje em dia nos edifícios modernos inseridas em zonas corta-fogo, com funções de escadas para saída de emer-

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

gência.

Com base no exposto, nos dados históricos recolhidos e no levantamento efetuado no local realizaram-se as plantas do rés do chão conforme se apresenta atualmente. Na figura 3.6 está exposta a planta arquitetónica deste piso que poderá ser visualizada com mais detalhe no anexo A.4 na página 104.

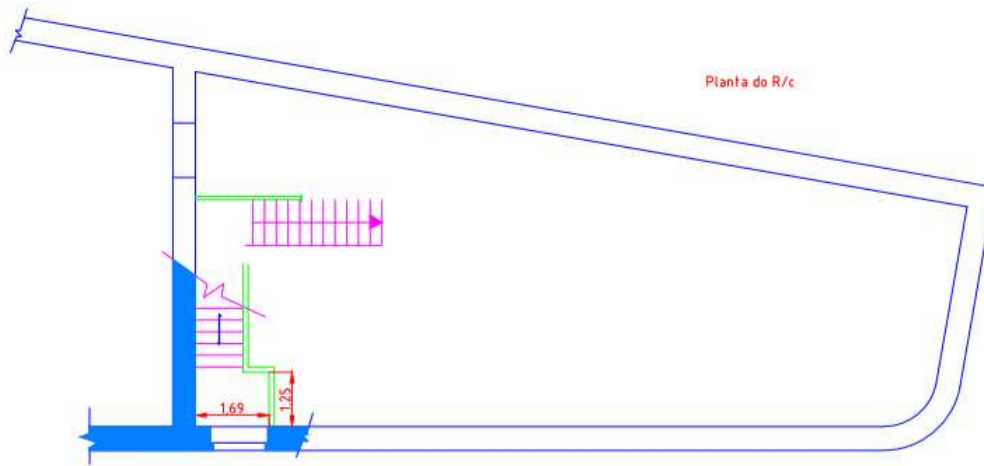


Figura 3.6.: Planta Arquitetura atual do R/c

Estando definidos e apresentados os pormenores construtivos utilizados na edificação, ir-se-á proceder nos próximos parágrafos à definição de uma possível estrutura para este piso. Para se poder deduzir a estrutura recorre-se aos elementos visíveis com exceção das áreas que estão de tal modo degradadas que originaram o colapso dos materiais abrindo janelas de inspeção que permitem recolher dados sobre a estrutura subjacente.

A área definida com "Pátio" no desenho atual de arquitetura representa o que está definido nas plantas antigas. Hoje em dia o pátio faz parte integrante de uma das lojas do R/c, compartimentado de modo a servir como instalação sanitária e armazém.

O aspeto significativo desta planta consiste na definição da parede Mestra a qual suporta a estrutura das escadas de acesso ao 1º andar e a definição de um piso térreo que se prolonga para o hall de entrada do nosso espaço. Com base nestes dados podemos deduzir que as vigas do primeiro lanço da escada de leque apoiam inferiormente no piso térreo e superiormente na viga do segundo lanço.

Na figura 3.7 está definida a estrutura deste piso. As plantas poderão ser visualizadas com mais pormenor no anexo A.10 na página 129.

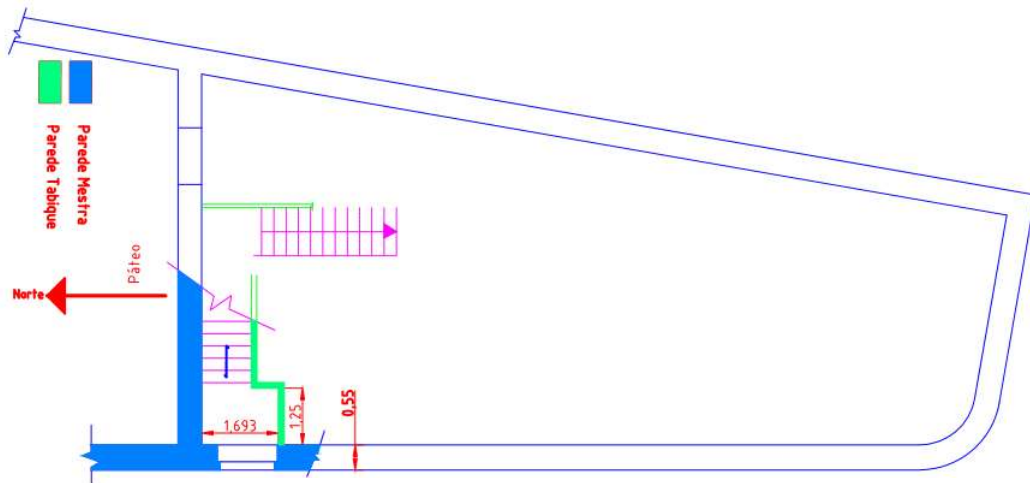


Figura 3.7.: Estrutura, deduzida do Rés do chão

3.2. Primeiro Andar

No primeiro andar constatasse os primeiros compartimentos e respetivos vãos exteriores. Para compartimentar o espaço foram utilizadas paredes de tabique que são obtidas pela pregagem de um fasquiado sobre tábuas ao alto, sendo o conjunto revestido em ambas as faces por reboco conforme representado na figura 3.8.



Figura 3.8.: Pormenor da Parede de Tabique nas escadas de acesso do R/c para o 1º andar

A principal função das paredes de compartimentação é a de limitar os compartimentos do prédio, não recebendo cargas.

Na figura 3.9 podemos ver esquematicamente como eram construídas estas paredes. De salientar que como base destas paredes deve de existir uma viga de pavimento, caso as paredes apresentem a mesma orientação destas.

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

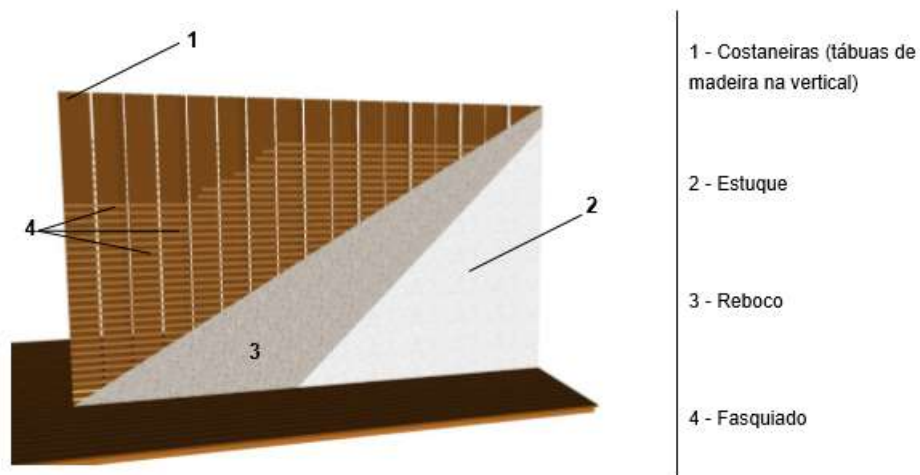


Figura 3.9.: Esquema da Parede de Tabique; MOREIRA (2009)

Neste piso os pavimentos são outro dos elementos preponderantes na estrutura do edifício, a par com a cobertura, as paredes mestras e as fundações. Estes são responsáveis pelo contraventamento dos elementos estruturais verticais, pelo suporte dos elementos de compartimentação e de intercomunicação entre pisos, não descurando a sua função principal que será a resistência às solicitações impostas pela própria utilização. Na definição destes pavimentos temos de ter em consideração o vão a vencer e a entrega das vigas, como elementos relevantes para o seu dimensionamento.

Os pavimentos na sua face inferior tem uma estrutura para fixar o estuque de gesso, normalmente composta por fasquiado (ripas) pregado a barrote, funcionando como base de assentamento do estuque de gesso. O soalho é pregado diretamente às vigas. Nas figuras 3.10 e 3.11, obtidas no edifício, poderão ver-se em pormenor estes métodos construtivos.



Figura 3.10.: Pormenor do Teto do 2º andar



Figura 3.11.: Pormenor do interior do pavimento do 1º piso

Na figura 3.12 e 3.20 estão representados pormenores esquemáticos dos pavimentos do edifício, que poderão ser visualizados com mais detalhe no anexo A.7 na página 119.



Figura 3.12.: Pavimento / Teto do 1º e 2º Andares

O pavimento do primeiro e segundo piso tem tarugos com a mesma secção da viga e do mesmo material, afastados 2,40 m entre si.

Neste piso também se regista a escada de acesso ao segundo andar no enfiamento da escada proveniente do rés do chão. Esta é uma escada com dois tramos retos e descanso intermédio conforme se pode verificar na figura 3.13.

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

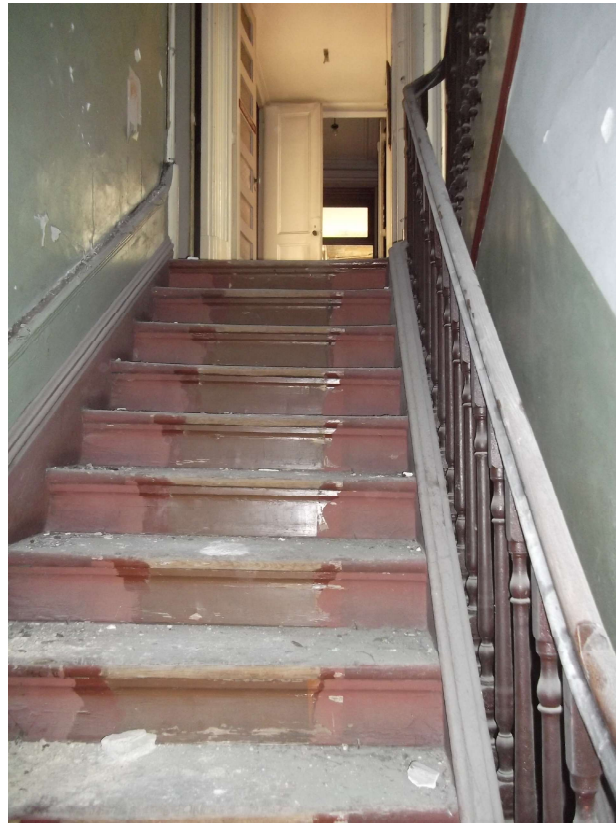


Figura 3.13.: Escada de acesso do 1º para 0 2º andar

Com base nestes dados construiu-se a planta de arquitetura atualizada do primeiro andar conforme se pode ver na figura 3.14 ou com mais detalhe no anexo A.4 na página 104.

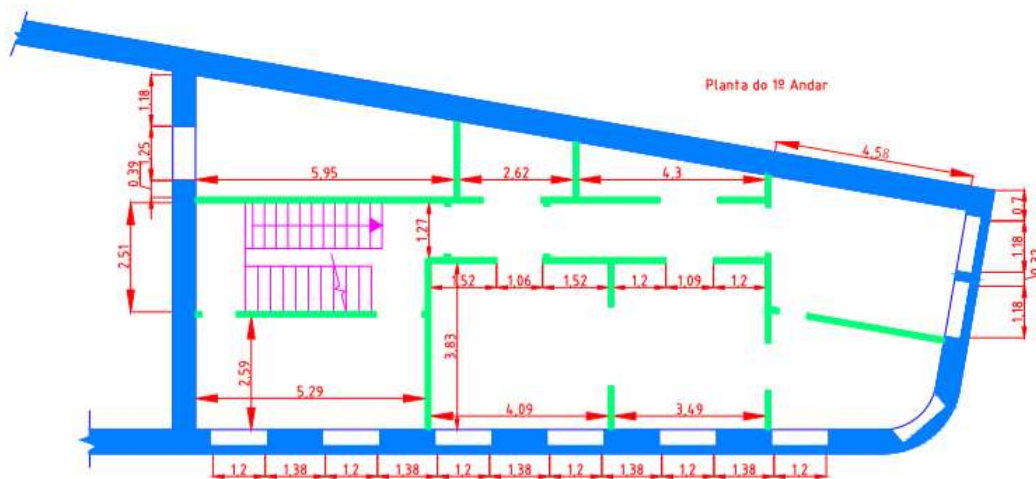


Figura 3.14.: Planta Arquitetura atualizada do primeiro Andar

Como já dito na página 11 e 39, ao longo dos anos a compartimentação foi alterada, por fases, não se sabendo em que condições é que a estrutura acompanhou essas alterações, se é que também sofreu alterações e ou reforços para suportar as novas sobrecargas e cargas permanentes. Aparentemente a estrutura original manteve-se suportando as alterações executadas. Neste piso

os elementos estruturais não estão perfeitamente expostos, exceção aos pontos em que os materiais de revestimento já estão de tal modo degradados que permitem ver a estrutura subjacente, constituindo verdadeiras janelas de inspeção.

Nesta fase, não se dispõe de meios para abrir janelas de inspeção, as quais são fundamentais para confirmar os pressupostos usados para definir a estrutura. Por este motivo a fase de preparação da obra é fundamental para a definição precisa da estrutura através da execução das janelas de inspeção necessárias.

Através do levantamento histórico constatou-se que o primeiro andar sofreu uma alteração significativa, nomeadamente a realocação da escada de acesso ao segundo andar. Nas plantas originais a escada estava localizada entre a sala e o quarto, espaço que hoje é mais um quarto. Na realidade a escada está localizada no mesmo alinhamento das escadas de acesso do rés-do-chão para o 1º andar conforme se pode verificar na figura 3.15.

A grande questão prende-se com a definição da estrutura do compartimento onde foi retirada a escada. Como foi fechada? Só se terá a certeza através da realização de uma ou mais janelas de inspeção, que não foram efetuadas no presente trabalho.

A dúvida seguinte prende-se a direção das vigas da estrutura do pavimento dos diversos compartimentos que constituem este piso. Como trabalha a estrutura? A orientação das tábuas do soalho é uma excelente indicação do alinhamento das vigas. Com base neste pressuposto foi desenhada a estrutura para este piso conforme se pode ver na figura 3.15.

Na figura 3.15 está deduzida a estrutura deste piso. As plantas poderão ser visualizadas com mais pormenor no anexo A.10 na página 129.

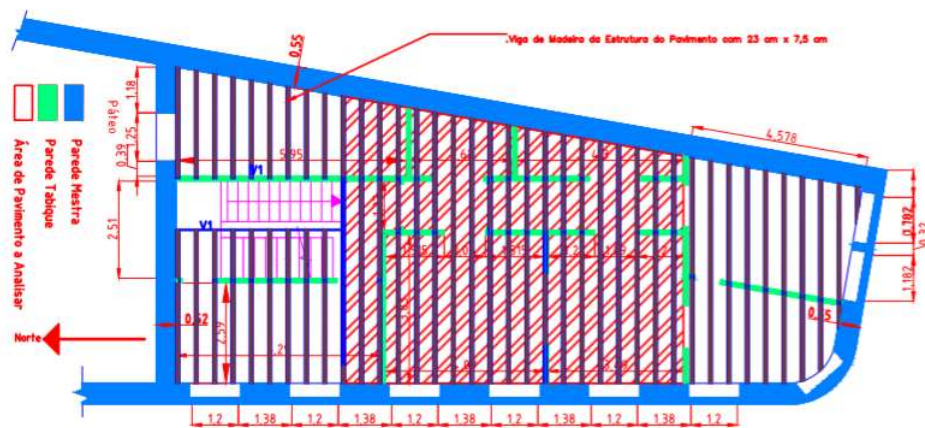


Figura 3.15.: Estrutura deduzida do Primeiro Andar

3.3. Segundo Andar

Neste piso replica-se o já apresentado para o primeiro andar acrescentando um elemento relevante. Foi construída uma escada em caracol para acesso do 2º andar ao desvão da cobertura conforme se pode ver na figura 3.16. Note-se como conseguiram encaixar uma escada num compartimento que era uma arrecadação.

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo



Figura 3.16.: Escada de Caracol numa arrecadação

Mais uma vez, com base nos elementos recolhidos fez-se a planta de arquitetura ao nível do segundo andar conforme figura 3.17 que poderá ser visualizada com mais detalhe no anexo A.4 na página 104.

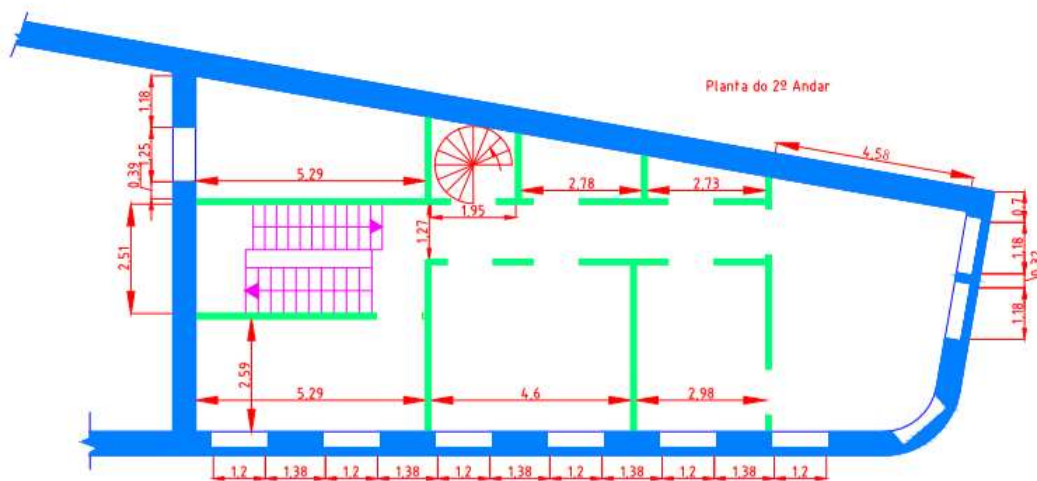


Figura 3.17.: Planta Arquitetura do Levantamento/Existente do 2º Andar

Tendo a arquitetura definida iniciasse o processo de dedução da estrutura do piso. Neste piso as alterações ainda são mais extraordinárias porque além da escada de acesso entre o primeiro e o segundo andar, associada ao fato de se ter fechado a anterior localização da mesma escada,

construiu-se uma escada de caracol para acesso ao desvão da cobertura, encaixando-a numa "arrecadação" conforme se viu na figura 3.16.

Mais uma vez se regista uma incógnita, como está apoiada esta escada? As cargas e sobrecargas inerentes a este elementos são muito significativas porque estão concentradas num único ponto de apoio, eventualmente uma viga. Só através de uma janela de inspeção a realizar na base na escada ou eventualmente no teto do piso inferior, é que se poderá esclarecer este ponto.

Na figura 3.18 está definida a estrutura deduzida deste piso. As plantas poderão ser visualizadas com mais pormenor no anexo A.10 na página 129.

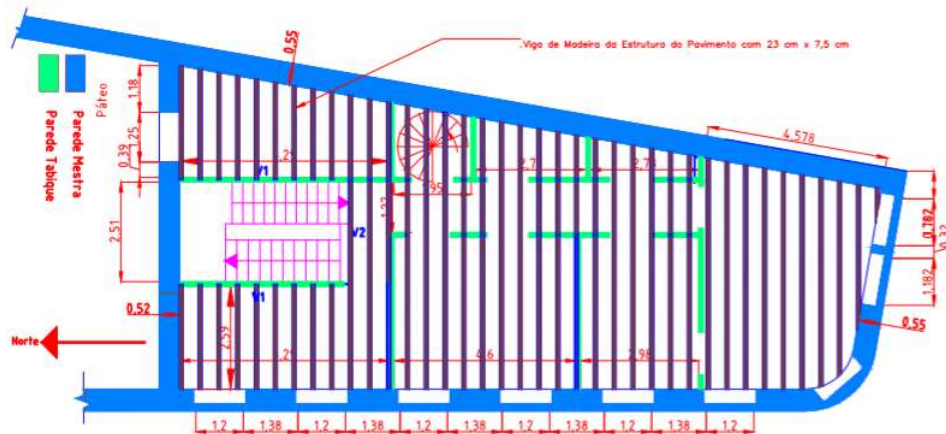


Figura 3.18.: Estrutura deduzida do Segundo Andar

3.4. Desvão da Cobertura / Sótão

Conforme se deduziu no capítulo 2 a cobertura que numa fase inicial da vida útil do edifício só teve a função de fecho superior do edifício protegendo-o dos efeitos dos agentes atmosféricos, a dada altura foi construído um acesso franco, compartimentando o espaço para que passasse a ser uma área habitável. Por este motivo no presente levantamento dividiu-se este espaço em duas plantas com base na sua função. Na planta apresentada nesta seção consideraremos a estrutura do piso apesar de que a mesma apoia nas asnas conforme será apresentado nos próximos parágrafos.

Assim sendo a planta de arquitetura com o levantamento do existente para o espaço do sótão é que poderá ser consultada na figura 3.19 ou com mais pormenor no anexo .

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

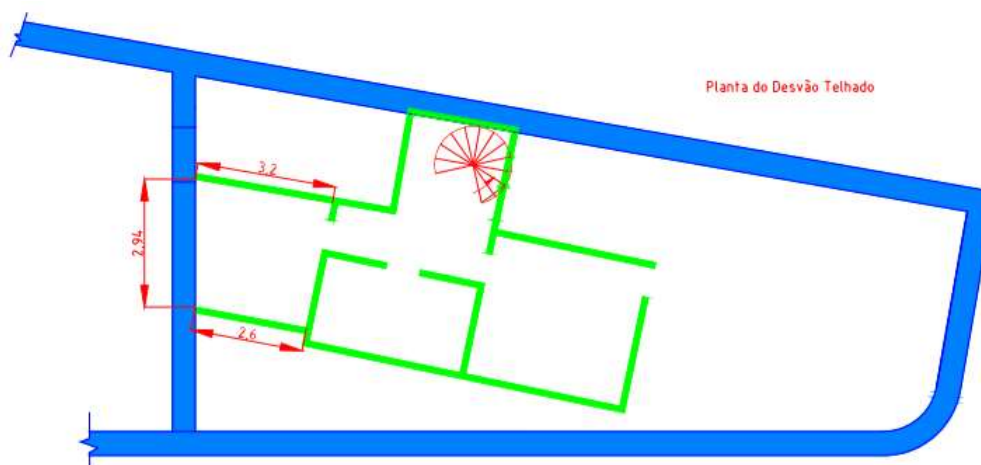


Figura 3.19.: Planta Arquitetura atualizada do Sótão

Estruturalmente neste piso as alterações foram abissais, podendo comprometer o prédio estruturalmente mas também nas condições de habitabilidade, porque as dimensões dos compartimentos não cumprem com as disposições do Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU), no que se refere aos pés-direitos mínimos, às áreas dos compartimentos e larguras dos vãos interiores. Já não falando da segurança contra incêndio e outras exigências legais.

A compartimentação foi executada em função da estrutura e arquitetura da cobertura. Com exceção do compartimento onde está a escada. Para construção deste compartimento que constitui o hall do sótão, optaram pela realização de um corpo exterior à cobertura, com paredes de tabique, e cobertura de duas águas revestida com telhas cerâmicas.

Ao procedermos ao levantamento da localização das asnas e vigas constatamos que as vigas não são paralelas às asnas, e também que não são paralelas às paredes metras dos extremos, de menor comprimento. No entanto, estão à esquadria com a parede mestra da empena nascente e são paralelas entre si.

De realçar que as asnas estão a funcionar como apoio do pavimento. Entre as asnas existem vigas, assimetricamente assentes que inicialmente serviram para suportar a estrutura do teto do piso inferior. No presente acumulam a carga do pavimento do desvão da cobertura.

Para o pavimento do desvão da cobertura temos uma pormenor tipo particular que está definido na figura 3.20.

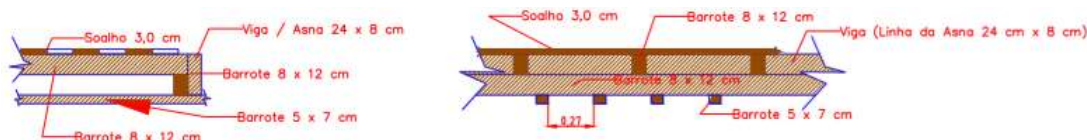


Figura 3.20.: Pormenor do Pavimento e Teto do Desvão da Cobertura (Sótão)

Na figura 3.21 está definida a estrutura deduzida deste piso. As plantas poderão ser visualizadas com mais pormenor no anexo A.10 na página 129.

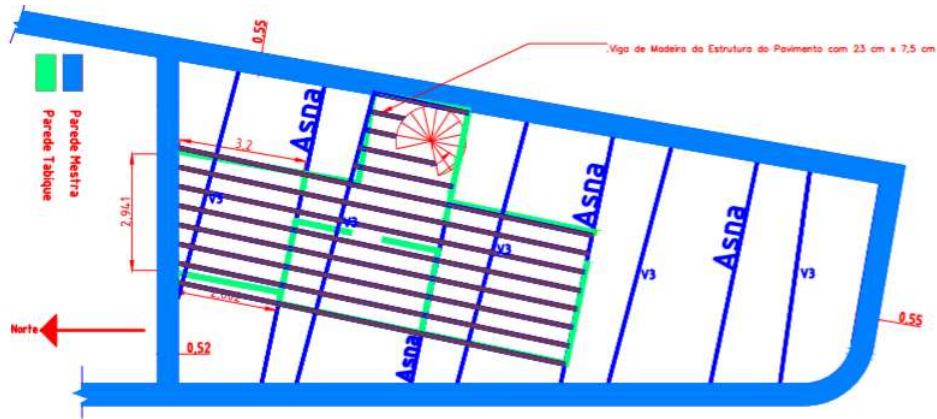


Figura 3.21.: Estrutura Deduzida do Sótão

3.5. Cobertura / Telhado

A cobertura do edifício é do tipo inclinada com duas águas, com uma estrutura de madeira revestida a telha cerâmica. A estrutura principal responsável pela recepção de todos os esforços a que a mesma está sujeita e a sua transmissão às paredes resistentes de alvenaria, é constituída por asnas e os elementos de ligação das mesmas (madres).

Também fazem parte da cobertura mais duas estruturas secundárias, uma assente sobre a estrutura principal e formada pelos elementos de suporte do revestimento (varas, guarda-pó e ripas) e pelo revestimento de telha, que encaixa entre as ripas da estrutura secundária. O guarda-pó só existe nos compartimentos habitáveis do desvão da cobertura, como se poderá verificar pela figura 3.12 nas áreas não acessíveis não tem.

A outra estrutura secundária, está fixa sob a principal e é composta por fasquiado (ripas) pregado a barrotes, funcionando como base de assentamento do estuque de gesso do teto do andar inferior.

A asna é do tipo de Palladio com a configuração definida nas figuras 3.22 e 3.23.

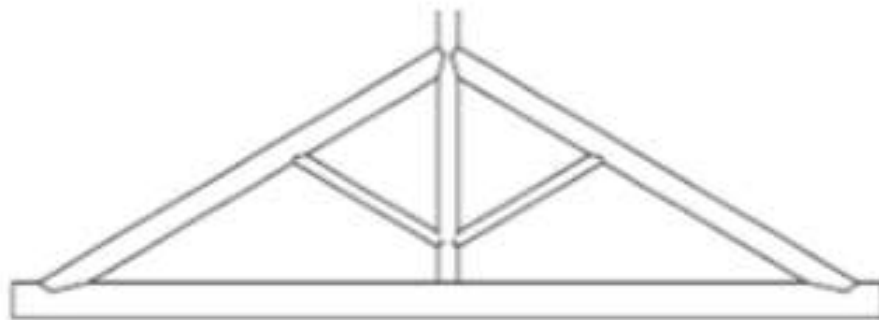


Figura 3.22.: Esquema da Asna de Palladio



Figura 3.23.: Asna da cobertura

Na figura 3.24 está definida esquematicamente a asna e estrutura de apoio das telhas do telhado. O pormenor poderá ser visualizado com mais detalhe no anexo A.7 na página 119.

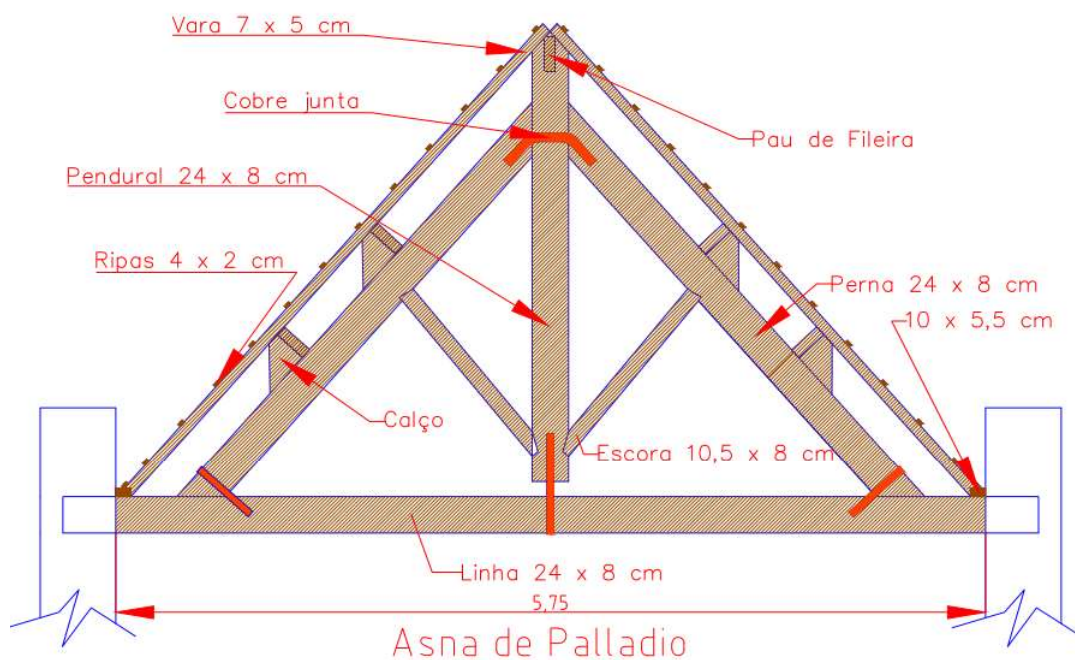


Figura 3.24.: Asna

Na cobertura existem elementos singulares que tem de se ter em consideração porque acarretam cargas adicionais que podem ser significativas. Na próxima listagem enumerar-se-á alguns.

1. Caixa de escadas

No compartimento onde está inserida a escada de caracol para acesso ao desvão da cober-

tura foi construída uma estrutura em madeira conforme se pode ver na figura 3.25 que está acima da cota do plano inclinado do telhado.



Figura 3.25.: Interior da caixa de escadas

2. Chaminés

No alinhamento da cozinha existente no 1º andar e para exaustão dos gases do fogão, existe uma chaminé conforme se poderá observar na figura 3.26. Na cobertura é a única existente.



Figura 3.26.: Chaminé

3. Claraboia

3. Levantamento Geométrico, Caso de Estudo

Os compartimentos habitáveis existentes no desvão da cobertura tem iluminação natural através de vãos abertos entre as varas da cobertura, condicionantes da dimensão das janelas, e com a inclinação da cobertura conforme se pode ver na figura 3.27. Estes elementos também permitem a ventilação do compartimento porque tem uma abertura tipo basculante.

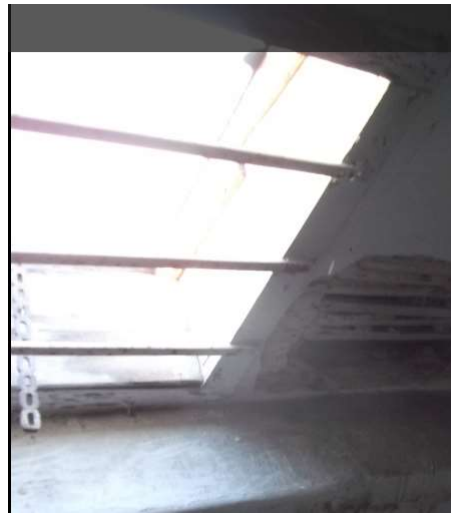


Figura 3.27.: Exemplo das claraboias existentes

Nesta seção vamos apresentar exclusivamente a estrutura do telhado porque existem alguns problemas na asna 1 que são justificáveis em função da estrutura construída.

Na figura 3.28 está definida a estrutura do telhado/cobertura. As plantas poderão ser visualizadas com mais pormenor no anexo A.10 na página 129.



Figura 3.28.: Estrutura Telhado

4. Inspeção

A degradação do edifício ao nível da estrutura de alvenaria não é visível a olho nú apesar das alterações a que foi sujeito ao longo da sua existência, quer de função, quer de compartimentação, quer de vãos. Numa análise à parte visível das paredes mestras não se detetou fendas, fissuras, rebocos destacados, ou outras anomalias que evidenciem alguma patologia estrutural. O mesmo já não se pode dizer das infiltrações das águas pluviais através da cobertura, que provocam alguns danos nas paredes, mas cuja solução se afigura acessível.

Quanto aos elementos de madeira do edifício já se constata uma degradação evidente mas não grave. Como o edifício nas áreas habitacionais/serviço está desabitado há somente dois anos segundo informação do proprietário e continua em utilização no piso térreo, a degradação devido às condições atmosféricas rapidamente é registada pelos utentes e reparada pelos proprietários, consequentemente existem algumas anomalias em locais perfeitamente definidos e de pouco relevo. Relativamente, ao ataque de elementos bióticos a situação já é bem mais grave, de um modo geral está disseminado por todo o edifício, mas sobretudo a nível dos revestimentos (soalho e degraus), não se detetando nada nos elementos estruturais.

A estrutura do edifício esteve sujeita ao longo da sua vida útil aos esforços provocados pela:

- ação das cargas permanentes;
- ação das sobrecargas;
- fluência dos materiais (devido á idade da construção);
- alteração nas funções para as quais foi concebido e de terem acrescentado compartimentos onde não era suposto ter.

Que implicaram tensões nos elementos que compõe a estrutura cujo efeito será avaliado neste estudo. Numa vistoria aos elementos visíveis só se detetaram fissuras nos estuques de gesso, quer dos tetos, quer das paredes.

No presente capítulo apresentar-se-á o resultado da inspeção visual efetuada, que permitiu detetar algumas patologias localizando-as nas plantas do edifício e propondo algumas inspeções a realizar oportunamente.

4.1. Primeiro Andar

Na planta de localização das anomalias do primeiro andar apresentada na figura 4.1 que poderá ser visualizada com mais pormenor no anexo A.5 na página 109 registou-se as anomalias detetadas neste piso.

4. Inspeção

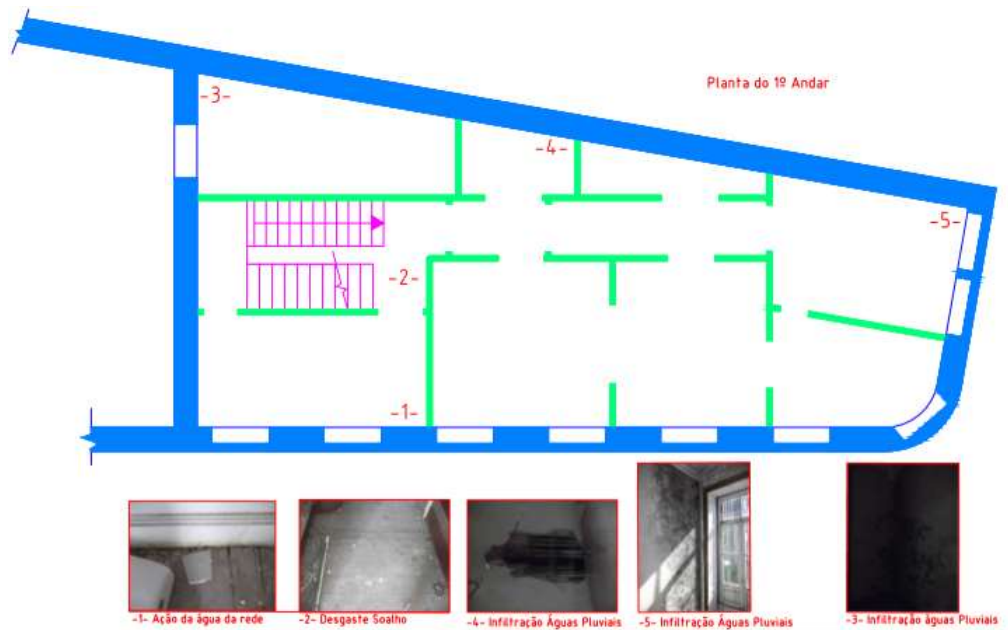


Figura 4.1.: Plantas de localização das anomalias no 1º Andar

4.1.1. Anomalia 1

Na referida planta está referenciada a anomalia 1 originada pela ação da água sobre o pavimento de soalho. Neste caso a água é proveniente da má utilização da rede de abastecimento de água do edifício. Ou seja, neste compartimento estava a laborar um cabeleireiro e no local onde estavam os lavatórios para lavar os cabelos não houve o cuidado em isolar os elementos de madeira. A água infiltrava-se de tal modo que originou a sua ruína conforme se pode observar na figura 4.2 na página 30. Para agravar mais a situação revestiram o soalho com vinílico. Este revestimento não permite que todos os elementos de madeira que constituem o pavimento ventilem, aumentando a percentagem de humidade na madeira para valores muito elevado acelerando a sua degradação.

A parede de tabique também sofreu o mesmo processo de degradação conforme se observa na mesma figura 4.2, e também foi revestida numa tentativa de isolá-la das ações diretas da água.



Figura 4.2.: Degradação da parede e do soalho (compartimento do 1º andar) devido há ação do homem no 1º andar

4.1.2. Anomalia 2

A anomalia 2 que também está referenciada na planta da figura 4.1 também tem a ver com o soalho. O soalho é composto por tábuas maciças, macheadas, não evidenciando sinais de qualquer tipo de tratamento na sua superfície visível, como por exemplo envernizamento, enceramento ou outros, apresentando por este motivo um aspeto bastante degradado, conforme se pode ver na figura 4.3.



Figura 4.3.: Pormenor do estado do soalho ao nível do 1º andar

Apresenta as juntas abertas, a sua superfície desgastada e alguma degradação localizada provocada pela ação dos agentes bióticos mas mínima, só existindo com maior gravidade nos compartimentos do desvão do telhado. Na sua generalidade a degradação é sobretudo provocada pelo envelhecimento do material associada a uma ausência de manutenção.

Nalguns pontos constata-se que a lenhina já não existe. A consequência deste fenómeno é a perda de seção do soalho, para além da diminuição das propriedades mecânicas.

4.1.3. Anomalias 3, 4 e 5

Estas infiltrações devem-se a uma falta de manutenção da cobertura e dos seus elementos associados para o escoamento das águas pluviais. Como a manutenção é realizada no limite existe alguma ação da água que leva à degradação dos rebocos das paredes mestras. Ou nos tetos.

4.1.4. Inspeções e ensaios complementares

Na planta da figura 4.4 que poderá ser visualizado com mais detalhe no anexo A.8 na página 122 apresenta-se uma proposta de ensaios e inspeções a realizar neste piso para uma otimização da estrutura deduzida e da sua avaliação.

4. Inspeção

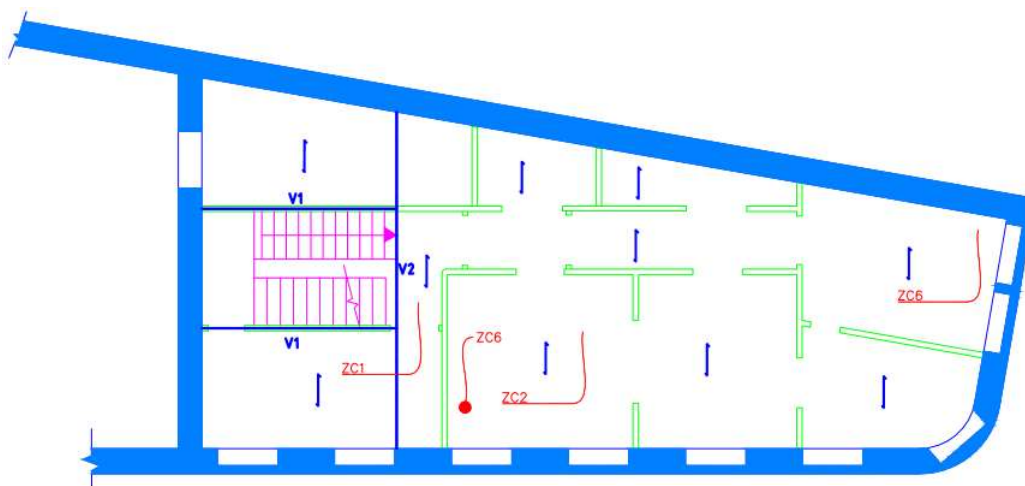


Figura 4.4.: Zonas de Inspeções e ou Ensaio do 1º andar

Na planta está referenciada a Zona Inspeção e Ensaio 1 - No local assinalado é preciso abrir janelas de inspeção para se poder definir a estrutura das escadas e do pavimento na sua envolvente. A degradação do soalho num local, disponibilizou ao projetista uma janela de inspeção o que permitiu definir a estrutura do pavimento, mas será seguro confirmar se se mantem em toda a área e em todos os pisos.

Na planta está referenciada a Zona Inspeção e Ensaio 2 - Esta área corresponde ao local onde, de acordo com as plantas antigas, estava construída uma escada de acesso entre o 1º e 2º andar. Como atualmente não existe é preciso saber como foi estruturado o pavimento. Se é que esta escada alguma vez foi construída, caso a confirmar com a inspeção.

Na planta está referenciada a Zona Inspeção e Ensaio 6 - Devido às entradas de águas pluviais pela cobertura e às águas derramadas pela má utilização das instalações e equipamentos, temos de analisar o estado atual da estrutura do pavimento. Para isso é necessário abrir janelas de inspeção.

4.2. Segundo Andar

Na planta de localização das anomalias do segundo andar apresentada na figura 4.5 que poderá ser visualizada com mais pormenor no anexo A.5 na página 109 registou-se as anomalias detetadas neste piso.

Conforme já foi referido os pavimentos foram sujeitos a alterações ao longo da sua vida útil que obrigaram a estrutura a esforços para os quais não foram preparados nem reforçados. Construíram-se mais compartimentos, mais acessos verticais, realocalizaram-se outros acessos, as funções passaram de habitacionais para um situação mista de serviços e habitacional e de uma edificação unifamiliar passou-se para várias frações.

Relativamente às vigas, nos poucos casos que se observou não se detetou nenhuma anomalia visível nem mesmo nas áreas relatadas na seção 4.1 na página 29. O mesmo se verifica no que se refere aos barrotos e fasquias do teto.

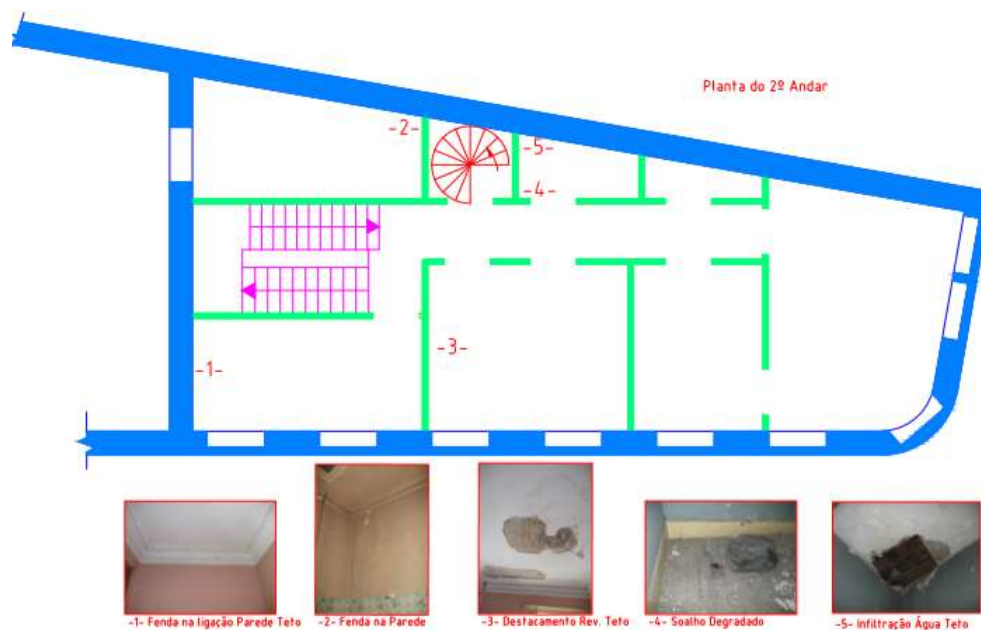


Figura 4.5.: Anomalias no 2º Andar

Contudo, existe uma patologia que apesar de não se manifestar no pavimento, é uma consequência deste. As fissurações e fendilhações nas paredes de compartimentação e tetos.

Por exemplo na figura 4.6, que está assinalada na planta de localização de anomalias como o número 2, em que se realça as fissuras com linhas azuis para uma melhor visualização, existe uma parede de tabique perpendicular a uma parede resistente de alvenaria. De notar que a parede de tabique tem o mesmo alinhamento das vigas do pavimento de madeira. Este padrão de fissuras demonstra que houve uma rotação do apoio da parede, ou seja, a viga apresenta uma flecha que não é visível a olho nu, só com o auxílio de níveis.



Figura 4.6.: Fissuração devido à rotação do apoio da parede(vigas do pavimento)

Na figura 4.7, que está assinalada na planta de localização de anomalias como o número 3, regista-se a mesma situação, neste caso ao nível do teto e com outra orientação. A parede da

4. Inspeção

direita é a parede resistente e a da esquerda é de tabique perpendicular há primeira. O teto apresenta uma fissuração entre os elementos verticais (paredes) e horizontais (teto) originadas pelo mesmo problema, flecha do pavimento.



Figura 4.7.: Fissuração devido à rotação do apoio da parede (vigas do pavimento)

Na figura 4.8 que está assinalada na planta de localização de anomalias como o número 4, regista-se uma anomalia relacionada com a ação dos agentes bióticos agravada pela utilização resultando na destruição total do focinho do cobertor dos degraus.



Figura 4.8.: Escada Caracol para acesso do 2º andar ao desvão da cobertura

O mesmo fenómeno ocorre na escada de acesso do rés do chão para o primeiro andar como se pode verificar na figura 4.9.



Figura 4.9.: Escada Leque para acesso do R/c ao 1º andar

Nas escadas estruturalmente não se visualizou nenhum elemento que evidencie alguma anomalia. Contudo será necessário abrir janelas de inspeção para observar os elementos constituintes das escadas com o objetivo de saber como estão estruturadas, bem como os pavimentos na sua envolvente, e qual o seu estado.

4.2.1. Inspeções e ensaios complementares

Na planta da figura 4.10 que poderá ser visualizado com mais detalhe no anexo A.8 na página 122 apresenta-se uma proposta de ensaios e inspeções a realizar neste piso para uma otimização da estrutura deduzida e da sua avaliação.

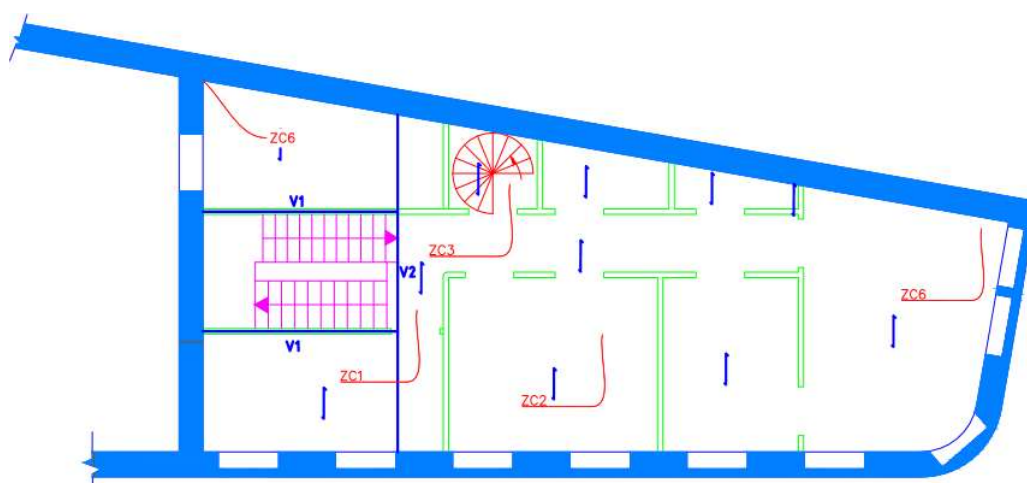


Figura 4.10.: Zonas de Inspeções e ou Ensaios do 2º andar

Para além das já referidas zonas de inspeção 1, 2 e 6 nesta planta temos referenciada a zona de inspeção 3. Como sabemos, mais uma vez pelas plantas antigas, há data da construção não

4. Inspeção

existia nenhum acesso para o sótão. Hoje em dia existe. Como apoia a escada de caracol? Só através de uma janela de inspeção é que poderemos esclarecer este ponto, figura 4.10.

4.3. Desvão Telhado / Cobertura

Como já foi referido na página 11 esta área passou de uma situação de não acessível para habitacional composta por dois quartos, um hall, uma instalação sanitária completa e escada de acesso. De referir que nos restantes piso não existem instalações sanitárias dentro da área habitacional porque estão localizadas no pátio que à data da construção era exterior.

De acordo com o parágrafo 6.1(1) do EUROCÓGIO 1, PARTE 1-1 (2009) “as sobrecargas em edifícios são as que resultam da sua ocupação”, referindo-se no parágrafo 6.1(3) que “para a determinação das sobrecargas, as áreas dos pavimentos e das coberturas dos edifícios deverão ser classificadas em função da sua utilização”. No referido EUROCÓGIO 1, PARTE 1-1 (2009) estão definidos nos parágrafos 6.3.1 até 6.3.3 os valores característicos das sobrecargas para os diversos tipos de pavimentos e no parágrafo 6.3.4 os valores para as coberturas. No quadro 6.9 estão definidos os diversos tipos de coberturas. A do presente prédio à data da sua construção foi considerada do tipo H, cobertura não acessível excepto para manutenção e hoje em dia terá de ser classificada do tipo I, cobertura acessível com utilizações definidas nas categorias A até G.

A estrutura da cobertura está a sujeita a dois tipos de sobrecarga, uma provocada pelo pavimento do desvão da cobertura que está apoiado nas linhas das asnas, e a que está associada à sua função de cobertura propriamente dita. As asnas da cobertura apesar de estarem sujeitas a sobrecargas para as quais, eventualmente, não foram dimensionadas não apresentam graves sinais de deterioração ou degradação, a anomalia mais evidente deve-se ao aspeto visual dos elementos de madeira, associado a uma manutenção mal feita ou inexistente.

As ligações, conforme se pode ver na figura 4.11, entre os diversos componentes das asnas apresentam algum afastamento, e desalinhamento, mas não se deteta a ação de agentes bióticos, por ser uma área bastante ventilada.



Figura 4.11.: O Ligador metálico entre o pendural e a linha da asna está desalinhado/desaprumado

Também existem algumas evidências de humidade originados pelo mau estado de conservação dos elementos acessórios da cobertura, nomeadamente caleiras, vedação dos lanternins e chaminés, mas sem gravidade aparente.

Analisando exteriormente o revestimento cerâmico apresenta-se perfeitamente alinhado, sem flechas visíveis a olho nu.



Figura 4.12.: Vista de parte do telhado, água nascente, apresentando bom aspeto

Na planta de localização das anomalias do sótão/desvão do telhado apresentada na figura 4.5 que poderá ser visualizada com mais pormenor no anexo A.5 na página 109 registou-se as anomalias detetadas neste piso.

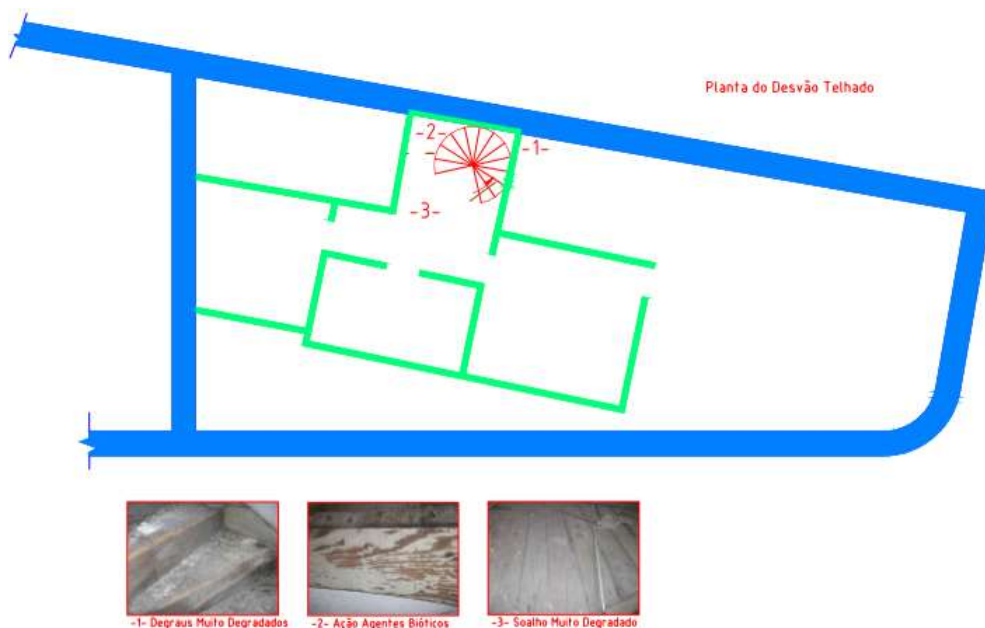


Figura 4.13.: Anomalias no Desvão Telhado

4.3.1. Inspeções e ensaios complementares

Nas plantas das figuras 4.14 e 4.15 que poderãp ser visualizadas com mais detalhe no anexo A.8 na página 122 apresenta-se uma proposta de ensaios e inspeções a realizar neste espaço para uma otimização da estrutura deduzida e da sua avaliação.

Na planta está referenciada a Zona Inspeção e Ensaio 4 - Como sabemos toda a compartimentação do desvão do telhado foi feita aproveitando a estrutura existente e a sua pequena volumetria. Por este motivo temos de saber como foi estruturada esta compartimentação e respetivo pavimento. Mais uma vez temos de recorrer a janelas de inspeção.



Figura 4.14.: Zonas de Inspeções e ou Ensaios do Desvão do Telhado

Na planta está referenciada a Zona Inspeção e Ensaio 5 - Devido à compartimentação do desvão do telhado desconhecemos como é a estrutura do telhado nesta área. Mais uma vez temos de recorrer a janelas de inspeção.

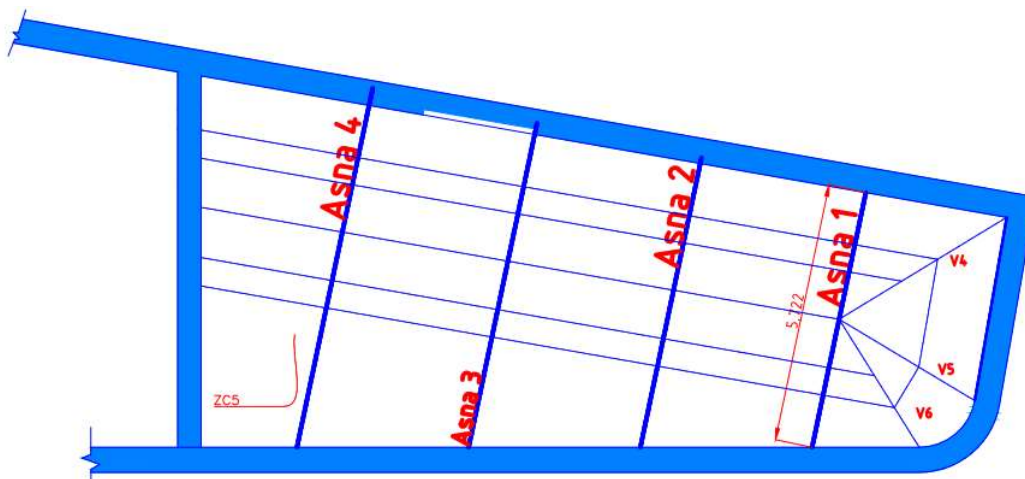


Figura 4.15.: Zonas de Inspeções e ou Ensaios da Estrutura Cobertura

5. Ensaaios

No seguimento dos levantamentos efetuados nos capítulos precedentes utilizando meios expeditos, tais como a fita métrica, martelo, máquina fotográfica, papel e caneta, não destrutivos e não intrusivos, limitando-se a observação ao exposto e tendo em consideração que:

1. O edifício em estudo tem mais de um século;
2. Existem locais de difícil acesso que obrigam à abertura de janelas para inspeção e ensaio;
3. É premente saber as características mecânicas e físicas dos materiais aplicados;
4. É fundamental saber a extensão da deterioração provocada:
 - a) pelos agentes atmosféricos;
 - b) pelos agentes bióticos;
 - c) pela própria ação do homem na utilização do compartimento;

O passo seguinte será a realização de ensaios que caracterizem os materiais constituintes das estruturas definindo parâmetros que serão necessários para avaliar o estado da estrutura de madeira do edifício.

Na próxima seção serão descritos os ensaios que existem e quais os seus objetivos.

5.1. Tipos de Ensaaios para Caracterização dos Materiais

5.1.1. Identificação da Espécie

Para obtenção das propriedades físicas é fundamental a identificação da espécie ou espécies aplicadas na construção dos acabamentos e da estrutura. Como se está perante uma edificação cuja manutenção foi deficiente, a não ser nos casos extremos, e a utilização foi muito desadequada, houve um desgaste acelerado do material o que dificulta a observação visual da madeira.

Conhecendo a madeira aplicada, pode-se obter as suas propriedades físicas, nomeadamente a densidade, que é fundamental na definição das cargas permanentes da estrutura.

Como a identificação visual no local é muito difícil, o projetista é obrigado a recolher provetes para serem analisados em laboratório recorrendo a um microscópio. Nesta observação observa-se o tipo de disposição celular, que é uma característica de cada espécie, comparando com bases de dados existentes.

5.1.2. Propriedade Física / Densidade

Pilodyn

Para definir a densidade superficial e a resistência da madeira recorre-se ao *Pylodin*, instrumento que efetua uma relação entre a energia de impacto da agulha e a dureza superficial da madeira, ou de outro modo, é possível definir um coeficiente de correlação entre a densidade e a profundidade de penetração. No caso das tábuas do soalho como tem 27 mm de espessura a eficácia deste aparelho já é pertinente. A direção da penetração é fundamental, como se sabe, a madeira é um material anisotrópico (as características mecânicas dependem da direção do esforço relativamente à orientação das fibras). A força é aplicada na agulha através de uma mola que é carregada manualmente, posiciona-se a ponta do *Pylodin* sobre a superfície a medir e liberta-se a mola. Procede-se à medição da profundidade de penetração da agulha, sendo necessário no mínimo 5 medições por provete.



Figura 5.1.: Pilodyn TERRAGES (2015)

No entanto, a eficácia deste equipamento é muito reduzida.

Resistógrafo

O Resistógrafo consiste num berbequim eléctrico que realiza uma perfuração até 3mm de diâmetro, e profundidades entre 300mm e 1.000mm, a velocidade constante recorrendo a uma agulha. A resistência à penetração é medida através do consumo de potência para realizar essa perfuração. A resistência apresentada permite algumas correlações com a massa volúmica.



Figura 5.2.: Resistógrafo RESIN PROGET (2015)

A grande utilidade deste método prende-se com a possibilidade de detetar vazios internos, defeitos e degradação na secção transversal das peças, não observáveis pelo exterior através da inspeção visual.



Figura 5.3.: Ensaio realizado numa viga em laboratório NCREP e INÊS GUEDES PHOTOGRAPHY (2015)

5.1.3. Humidade

Os ensaios realizados no edifício foram feitos no início do Outono, o que implica valores de teor de água da madeira mais baixos; este valor tem especial importância na definição dos valores característicos da resistência mecânica da madeira.

Para isso ir-se-á utilizar um higrómetro, mais propriamente um *Protimeter MMS* da *General Electric* conforme se pode ver na figura 5.4.



Figura 5.4.: Higrómetro GENERAL ELETRIC (2006)

5.1.4. Propriedade Mecânica / Módulo de Elasticidade / Ultra-sons

Ultra-sons é uma técnica de ensaio muito utilizada na inspeção de estruturas de madeira. Consiste na emissão de um impulso sonoro num ponto da estrutura. Este impulso será captado num ou mais recetores colocados em locais prédefinidos. A relação entre a velocidade de propagação das ondas ultrasónicas na madeira (ν) e as propriedades elásticas, permite estimar o módulo de elasticidade dinâmico (E_{din}). No entanto esta relação só se aplica em elementos prismáticos, homogéneos, isotrópicos e cuja largura da secção seja menor que o comprimento de onda da vibração longitudinal que a atravessa. A madeira é um material anisotrópico logo esta metodologia de ensaio tem de ser aplicada com as devidas considerações, e de acordo com FEIO/LOURENÇO (2005) "avanços associados à avaliação de ligações e de sistemas estruturais, sugerem que este método pode ser utilizado na avaliação de estruturas de madeira".

$$E_{din} = \nu^2 \cdot \rho \quad (5.1)$$

Em que:

- ν Velocidade de propagação da onda ultrasónica (m/s)
- E_{din} Módulo de elasticidade dinâmico (N/m^2)
- ρ Densidade (Kg/m^3)

Obtido o valor de E_{din} é preciso efetuar a "correção" do módulo de elasticidade dinâmico em comparação com o E_{mdio} estático, considerado como valor de referência em termos de projeto (na prática $E_{din} \geq E_{mdio}$). Na literatura de ?, é apresentada uma relação linear do tipo:

$$E_{mdio} = a * E_{din} + b \quad (5.2)$$

Em que a e b são constantes próprias do material.

Este método também permite detetar a existência de vazios ou descontinuidades e determinar defeitos locais, bem como variações nas propriedades mecânicas.

Para a realização deste ensaio irá ser utilizado um *Proceq Tico Ultrasonic Instrument* conforme se pode ver na figura 5.20.



Figura 5.5.: Aparelho para ensaios com ultra-sons PROCEQ (2015)

Este aparelho é composto pelos seguintes elementos:

- Um aparelho emissor de ondas.
- Dois transdutores/sondas de 54 Hz.

Para a realização destes ensaios podem ser utilizados 3 tipos distintos de transmissão de sinal dependendo da posição em que se coloca as sondas na peça de madeira:

- Método Semi-direto conforme de demonstra na figura 5.6.



Figura 5.6.: Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)

- Método Direto, paralelo às fibras conforme de demonstra na figura 5.8 retirada da literatura de FEIO/LOURENÇO (2005).

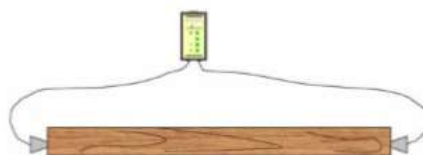


Figura 5.7.: Modo de aplicação das sondas JÚNIOR (2006)

- Método Direto, perpendicular às fibras conforme de demonstra na figura 5.8.

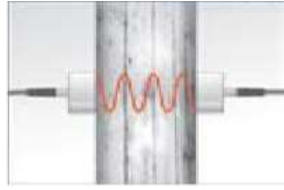


Figura 5.8.: Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)

- Método Indireto, ou de superfície conforme demonstra na figura 5.8.

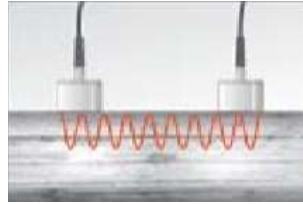


Figura 5.9.: Modo de aplicação das sondas PROCEQ (2015)

Registam-se os tempos de propagação da onda e considera-se que o meio é contínuo e homogêneo. O acoplamento entre as sondas e os provetes utilizados foi efetuado por intermédio de um gel fornecido com o equipamento, sendo que a única e exclusiva função deste é a de permitir uma boa transmissão da onda elástica entre as sondas e o provete sob ensaio.

Obtendo o valor do E_{din} pode-se obter o valor do E_{med} através da equação apresentada por JÚNIOR (2006) que se transcreve:

$$E_{med} = E_{din} * K \quad (5.3)$$

K – constante de proporcionalidade que depende da espécie de madeira.

A equação 5.4 foi aprimorada por MACHADO (2003) através de uma série de ensaios e a equação 5.5 foi desenvolvida por DIEZ/HERMOSO/FERNANDEZ-GOLFIN (2003):

- *Pinus Pinaster* = Pinho Bravo

$$E_{med} = 1.415, 2 + 0, 55 * E_{din} \quad (5.4)$$

- *Pinus Sylvestri* = Riga

$$E_{med} = (-23, 0676 + 0, 0254737 * v)^2 \quad (5.5)$$

O JÚNIOR (2006) também apresenta uma metodologia desenvolvida por outros autores para definir as características mecânicas de elementos estruturais de madeira em função dos valores da velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas.

Dada a dificuldade descrita de apurar o valor da massa volúmica de elementos de madeira in situ, Arriaga propõe os seguintes intervalos aproximados, para a classificação mecânica em função das velocidades de propagação de ondas obtidos pelo ensaio do Sylvatest ARRIAGA et al. (2002):

- $V_{baixa} = 4.100 \text{ a } 4.600 \text{ m/s}$: Classe resistente C14 a C16.
- $V_{mdia} = 4.600 \text{ a } 5.100 \text{ m/s}$: Classe resistente C18.
- $V_{alta} = 5.100 \text{ a } 5.400 \text{ m/s}$: Classe resistente C22

Refira-se que os intervalos de classificação apresentados por Arriaga são de certa forma demasiado seguros, o que não se considera desajustado quando se pretende avaliar a capacidade resistente de elementos estruturais in situ, principalmente quando são peças com vários anos de serviço.

5.1.5. Caracterização do Comportamento / Vibrações

Como exposto nos capítulos precedentes cada estrutura tem um comportamento dinâmico próprio, dependendo não só da própria estrutura mas também da sua utilização e do meio exterior onde está inserida.

O estudo do comportamento dinâmico será feito através da recolha de dados que definam a resposta dinâmica da construção às solicitações referidas no parágrafo anterior. Para tal é preciso proceder à monitorização das vibrações. Este ensaio pretende CÓIAS (2006) “ ... acautelar os efeitos secundários eventualmente associados a essas vibrações e assegurar o cumprimento da regulamentação aplicável”.

Através de um Micro Sismógrafo pode-se obter valores de acelerações nas três direções e através dos registos de acelerações de cada estação, podem ser calculadas as correspondentes densidades espectrais de potência, que fornecem as frequências próprias de vibração da estrutura. No nosso caso teremos de realizar este ensaio por piso e por viga ou elemento estrutural.

O equipamento necessário para a realização destas medições poderá ser uma estação sísmica portátil para registar os impulsos de todos os micro-sismógrafos instalados. Os micro-sismógrafos são constituídos por transdutores que transformam as vibrações em impulsos elétricos.



Figura 5.10.: Estação sísmica portátil CÓIAS (2006)

Este equipamento apresenta menor rigor mas é mais expedito do que a utilização de acelerómetros.

5.1.6. Janelas de Inspeção

Conforme já exposto nos capítulos precedentes a realização de janelas de inspeção para podermos definir a estrutura é fundamental porque existem muitas áreas indefinidas. Para a realização desta tarefa poderemos recorrer a um Videoscópio ou um Baroscópio.



Figura 5.11.: Videoscópio GENERAL ELETRIC (2015)

O Videoscópio ou o Baroscópio são aparelhos compostos por uma central com visor para se poder ver no momento aquilo que se pretende e cujo acesso é difícil, estes aparelhos estão conectados a um cabo com uma lente na extremidade e uma luz forte, o qual pode ser introduzido em orifícios diminutos.



Figura 5.12.: Baroscópio PCE IBÉRICA (2015)

5.1.7. Níveis

É fundamental verificar a planimetria dos pisos para se saber o valor da flecha das vigas dos pavimentos. Para a realização desta tarefa pode-se utilizar um nível laser tipo estação total porque

permite facilmente a recolha de medições, guardar em memória e descarregar em gabinete, mas muito dispendioso. Estes valores são fundamentais para a avaliação da estrutura relativamente ao Estado Último de Deformação.



Figura 5.13.: Nível laser QUEBARATO (2015)

Ou utilizando régua de nível, económicas, mas não tão fiáveis.



Figura 5.14.: Régua de nível SCANMETAL (2015)

Estas serão mais acessíveis para verificar prumos e níveis de elementos mais reticulados como asnas.

5.2. Ensaio Realizados

Para a realização destes ensaios delimitou-se uma área do 1º andar representada a tracejado na figura 5.15 porque é o único local onde existe uma janela de inspeção originada pela degradação das tábuas do soalho. Esta área também será a que será avaliada estruturalmente.

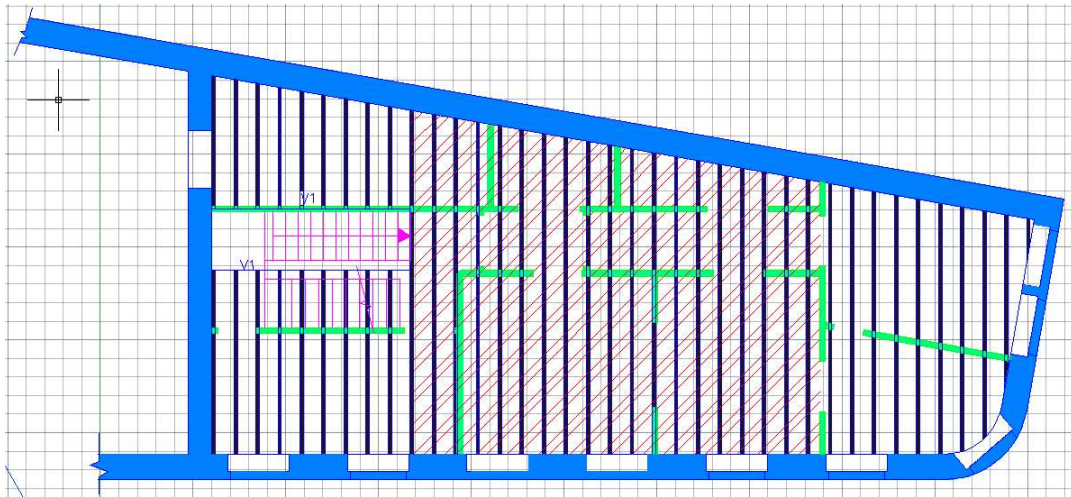


Figura 5.15.: Área de realização dos ensaios no 1º Andar delimitada a tracejado vermelho

Também convém referir que estes ensaios foram feitos em Outubro, portanto após o verão, encontrando-se os materiais mais secos.

5.2.1. Identificação da Espécie

Perante a indisponibilidade de se poder recolher amostras para identificação em laboratório ir-se-á fazer uma análise visual no local para identificar a espécie. Nesta análise verificam-se os veios, nós, perda de lenhite, cor, eventuais bolsas de resina e empenos para se definir a espécie.

Numa primeira hipótese propõe-se as seguintes espécies:

- Soalho → Pinho Bravo



Figura 5.16.: Pinho Bravo MADEICENTRO (2015)

- Vigas → Riga



Figura 5.17.: Riga MADEICENTRO (2015)

5.2.2. Higrómetro

Para a realização destas medições foi utilizado um *Protimeter Plus*, tendo-se feito as medições que se podem ver nas tabelas das figuras 5.1 e 5.2 para cada um dos elementos do pavimento.

Tabela 5.1.: Ficha para determinação do teor em água (%) - Vigas

Data / Hora:	07/10/2015; 18h		Humidade Ambiente:	80%					
Localização Provete:	Vigas								
Local do Ensaio:	1º andar								
Temperatura:	18°C								
Amostra n.º	MEDIÇÕES						Valores Médios		VALOR FINAL DA AMOSTRA
	FACE			CANTO			FACE	CANTO	
	Medido no Extremo	Medido no Centro	Medido no Extremo	Medido no Extremo	Medido no Canto	Medido no Extremo			
1		9,5					9,5%	9,5%	
2		9,4					9,4%	9,4%	
3		9,6					9,6%	9,6%	
4		10,5					10,5%	10,5%	
TOTAL =								39,0%	
TEOR EM ÁGUA (%) =								9,8%	

Na figura 5.18 registou-se o ato de realização de uma das leituras no soalho.

5. Ensaios



Figura 5.18.: Medição do teor em água

Tabela 5.2.: Ficha para determinação do teor em água (%) - Soalho

Data / Hora:	07/10/2015; 18h		Humidade Ambiente:	80%
Localização Proverte:	Soalho			
Local do Ensaio:	1º andar			
Temperatura:	18°C			

Amostra n.º	MEDIÇÕES						Valores Médios		VALOR FINAL DA AMOSTRA
	FACE			CANTO			FACE	CANTO	
	Medido no Extremo	Medido no Centro	Medido no Extremo	Medido no Extremo	Medido no Canto	Medido no Extremo			
1	10,9	10,8	10,7				10,8%		10,8%
2	15,9	16,1	16,3				16,1%		16,1%
3	10,9	10,8	10,7				10,8%		10,8%
4	12,4	12,5	12,5				12,5%		12,5%
5	12,6	12,7	12,4				12,6%		12,6%
							TOTAL =		62,7%
							TEOR EM ÁGUA (%) =		12,5%

Através do Ábaco de Kollman da figura 5.19 podemos obter o valor aproximado da humidade de equilíbrio da madeira em função do ambiente em que está inserida. No caso em estudo para 80% de humidade relativa do ar e uma temperatura de 18 °C teríamos valores máximos entre 17% a 18%, o que se enquadra nos valores obtidos para o teor em água das madeiras do:

- Soalho = 12,5 %
- Vigas = 9,8 %

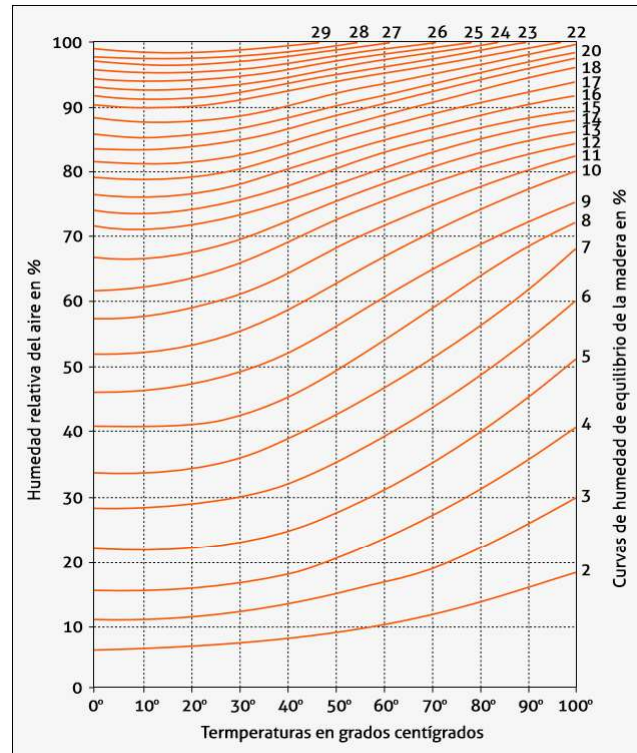


Figura 5.19.: Ábaco de Kollman - Humidade de equilíbrio da madeira

5.2.3. Pilodyn

De acordo com LOPES/MILITZ/MAI (2010) a agulha penetra na madeira de pinho bravo "... entre 10 a 17 mm", e na mesma literatura é estabelecida uma relação entre a profundidade de penetração e a densidade da madeira conforme definido na equação 5.6 e no gráfico 5.20 o que permite obter o valor da densidade equação 5.7 :

$$y = -0,016 * x + 21,365; R^2 = 0,2834 \quad (5.6)$$

Donde se retira o valor da densidade:

$$\rho = \frac{(ProfundidadePenetrao - 21,365)}{(-0,016)} \quad (5.7)$$

O valor da profundidade é considerado em mm.

O coeficiente (R^2) entre a densidade e a profundidade de penetração dá-nos uma ideia da fiabilidade da equação aplicada de acordo com FEIO/LOURENÇO (2005):

5. Ensaaios

Görlacher (1987) obteve bons coeficientes de correlação ($r^2 = 0.74-0.92$) entre a densidade e a profundidade de penetração do Pilodyn 6J, tendo em conta que o número de medições para cada provete deve ser elevada (mínimo de 5 medições). ... Mais uma vez, é de notar que a profundidade de penetração é significativamente afectada pela humidade.

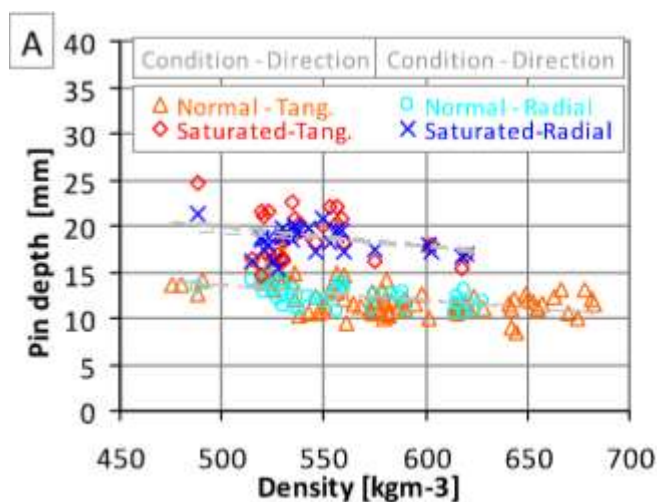


Figura 5.20.: Gráfico da relação entre profundidade e densidade; LOPES/MILITZ/MAI (2010)

Na próxima tabela apresentam-se as medições obtidas e respetiva densidade.

Tabela 5.3.: Medição profundidade de penetração da agulha / Densidade - Soalho

Medições no Soalho			
Ensaio n.º	Teor em Água (%)	Profundidade (mm)	Densidade (Kg/m^3)
1	10,8	18	210
2	16,1	5	1.023
3	10,9	7	898
4	12,5	12	585
5	13,5	12	585
6	14,0	11	648
Total =			3.949
Densidade Média =			658

Aplicando o mesmo procedimento para a viga porque se está a falar de madeiras do mesmo tipo. A RIGA designada cientificamente por *Pinus sylvestris*, é conhecida popularmente como pinho-de-riga, pinheiro-silvestre, pinheiro-da-escócia, pinho-nórdico, casquinha-nórdica ou casquinha, sendo uma espécie de pinheiro originária do Velho Mundo, mais precisamente da região da Eurásia. E o pinheiro bravo cientificamente designado por *Pinus Pinaster* também é uma espécie de pinheiro originária do Velho Mundo, mais precisamente da região da Europa e Mediterrâneo.

Tabela 5.4.: Medição profundidade penetração da agulha / Densidade - Viga

Medições na Viga			
Ensaio n.º	Teor em Água (%)	Profundidade (mm)	Densidade (Kg/m^3)
1	9,5	10	718
2	9,4	10	718
3	9,6	8	835
4	10,5	10	718
Total =			2.989
Densidade Média =			747

Obtêm-se as seguintes densidades:

- Soalho = 658 Kg/m^3
- Vigas = 747 Kg/m^3

5.2.4. Ultra-sons

Soalho

No soalho para efetuar a medição de ultra-sons utiliza-se uma técnica baseada no Método Indireto de transmissão de ondas elásticas aplicada na face à vista. Em termos de análise de resultados foram considerados os valores médios. Aplicam-se as sondas com uma distância de 1,0 metros entre ambas, efetuando-se as medições da velocidade de propagação [m/s] e do tempo [μs] conforme se pode ver na figura 5.21.



Figura 5.21.: Registo fotográfico de uma das medições realizadas

5. Ensaios

Aplicando a equação 5.1, mais as leituras recolhidas para uma densidade de $658 \text{ Kg}/\text{m}^3$ foi feita a tabela 5.5 .

Tabela 5.5.: Medição ultra-sons - Soalho

Medição Ultra-sons Soalho				
Ensaio nº	L (m)	Tempo (μs)	Velocidade (m/s)	E_{din} (GPa)
1	1,0	226,0	4.430	12,9
2	1,0	188,5	5.310	18,6
3	1,0	197,6	5.060	16,9
4	1,0	213,0	4.700	14,5
Total =				62,85
Valor Médio E_{din} (GPa) =				15,7

Tendo o valor do módulo de elasticidade dinâmico pode-se calcular o módulo de elasticidade médio utilizando a equação 5.4 definida na página 44 .

$$E_{med} = 1.415,5 + 0,55 * (15,7 * 10^9) = 8,6 \text{ GPa}$$

E tendo em consideração que o intervalo da velocidade de propagação das ondas está entre 4.430 e 5.310 m/s , consultando os parâmetros definidos na página 45, conclui-se que estamos perante um elemento estrutural da classe de resistência C16 para estarmos do lado da segurança.

Se se consultar a tabela no anexo A.9 na página 127, constata-se que o valor para a classe de resistência C16 do $E_{0,med}$ é igual a 8 GPa , o que se enquadra no valor obtido nos ensaios de campo.

Viga

Aplicando o mesmo procedimento para as duas vigas de pavimento que estão acessíveis através da mesma janela e considerando que:

- A distância entre as sondas passa a ser de 15 cm .
- A densidade é de $747 \text{ Kg}/(\text{m}^3)$.
- A espécie será a RIGA.
- Para calcular o valor de E_{med} utiliza-se a equação 5.5 definida na página 44.
- Foram efetuados dois tipos de leituras. A primeira no alinhamento das fibras $E_{0,med}$ e a segunda perpendicularmente $E_{90,med}$.

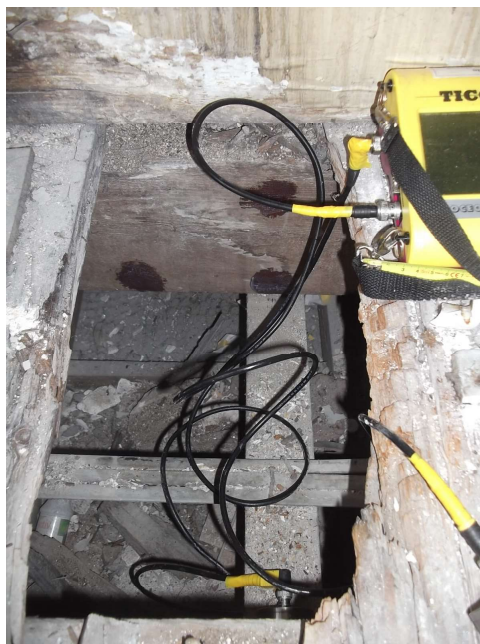


Figura 5.22.: Registo de um dos ensaios de ultra-sons realizados

Tabela 5.6.: Medição ultra-sons - Viga, Perpendicularmente ao Alinhamento das Fibras

Medição Ultra-sons Vigas Perpendicularmente ao Alinhamento das Fibras					
Ensaio nº	Viga nº	L (m)	Tempo (μs)	Velocidade (m/s)	$E_{90,med}$ (MPa)
1	1	0,15	94,5	1.590	304,0
2	1	0,15	226,0	660	39,0
Total =					343,0
Valor Médio $E_{90,med}$ (MPa) =					172,0

Tabela 5.7.: Medição ultra-sons - Viga, Paralelamente ao Alinhamento das Fibras

Medição Ultra-sons Vigas Paralelamente ao Alinhamento das Fibras					
Ensaio nº	Viga nº	L (m)	Tempo (μs)	Velocidade (m/s)	$E_{0,med}$ (MPa)
1	1	0,15	12,2	12.300	84.250
2	1	0,15	12,6	11.910	78.582
Total =					162.832
Valor Médio $E_{0,med}$ (MPa) =					81.416

Tendo em consideração que o intervalo da velocidade de propagação das ondas está entre 660 e 1.590 m/s, consultando os parâmetros definidos na página 45, conclui-se que estamos fora dos intervalos definidos.

5. Ensaaios

Se consultarmos a tabela no anexo A.9 na página 127, constatamos que o valor correspondente ao valor do $E_{0,med}$ de 0,172 GPa, NÃO se enquadra na tabela.

5.2.5. Conclusões

Soalho

Para o soalho consegue-se chegar a uma conclusão sobre a espécie, densidade e propriedades mecânicas do material aplicado, tendo todos os elementos necessários para avaliar a segurança estrutural.

- Pinho Bravo
- Densidade = 658 Kg/m^3
- Teor em água 12,5 %
- Classe de resistência C16

Vigas

Para as vigas do pavimento consegue-se chegar a uma conclusão sobre a espécie e densidade do material aplicado, mas não se consegue definir as propriedades mecânicas porque precisava-se de realizar mais medições e em melhores condições.

Fazendo uma pequena consulta no mercado de fornecedores obtivemos alguns valores da MADEICENTRO (2015) para a riga velha e riga nova que se apresenta nas figuras 5.8 e 5.9

Tabela 5.8.: Propriedades da Riga Velha apresentadas pela empresa MADEICENTRO (2015)

Propriedades Físicas		
Densidade a 12% (kg/m³)	660	Moderadamente Pesada
Retração (%)	Baixa	

Propriedades Mecânicas	
Flexão Estática	Média
Compressão Axial	Média
Dureza	Média

Tabela 5.9.: Propriedades da Riga Nova apresentadas pela empresa MADEICENTRO (2015)

Propriedades Físicas		
Densidade a 12% (kg/m ³)	580	Moderadamente Pesada
Retração (%)		
Tangencial	8.0	Média
Radial	3.8	Baixa
Propriedades Mecânicas		
Flexão Estática		
Tensão de rotura (N/mm ²)	84	Baixa
Compressão Axial		
Tensão de rotura (N/mm ²)	30.5	Baixa
Dureza (kN)	Baixa - Média	

Dentro da segurança propõe-se avaliar a segurança da estrutura para a classe de resistência máxima definida no quadro A.9 da página 127 para as espécies folhosas (note-se que a riga é uma resinosa).

- Riga
- Densidade = 747 Kg/m^3
- Teor em água 9,8 %
- Classe de resistência D70

Nota

É oportuno transcrever o que FEIO/LOURENÇO (2005) conclui num trabalho desenvolvido pelo próprio sobre "Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos":

As estruturas de madeira antigas encontram-se geralmente em condições de serem utilizadas, com operações de conservação, substituição localizada e reforço. Neste sentido, os ensaios não-destrutivos são de enorme utilidade no diagnóstico e na avaliação de segurança desta estruturas. Salienta-se, no entanto, que uma avaliação quantitativa baseada puramente em ensaios não-destrutivos deve ser encarada com reservas.

6. Avaliação Estrutural

COMO já se constatou ao longo deste documento a cobertura tem diversos problemas, em que o mais relevante são os originados pela alteração da sua função. Temos asnas com afastamento de 3,7 m entre si a funcionar como apoios para pavimentos, situação que sobretudo no aspeto arquitetónico não é admissível porque não cumpre com o RGEU, obrigando à sua correção. Caso se pretenda avançar com a utilização deste nível para funções habitacionais, o projeto arquitetónico deverá de ser alterado e redefinida uma estrutura para apoio do que eventualmente vier a ser construído.

Com esta situação corrigida avançar-se-á para a avaliação estrutural, que obrigatoriamente implicará a análise de um pavimento a construir ou da cobertura atual caso seja para manter. Não descurando a possibilidade do proprietário optar por situação mista.

Tendo em consideração o exposto nestas primeiras linhas do presente capítulo irá analisar-se unicamente uma área do pavimento do 1º andar, apesar de também existir uma limitação relativamente aos ensaios que são precisos, mas que não se podem realizar, quer por falta de meios, quer por indisponibilidade na realização de ensaios que impliquem a destruição parcial dos elementos existentes.

Assim sendo, passar-se-á para a avaliação da estrutura do pavimento, tendo como base o definido no EUROCÓDIGO 0 (2009), EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010), EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-1 (2009) e EUROCÓDIGO 5 (2004) para a verificação do estado de segurança da estrutura. Irá analisar-se o Estado Limite Último de Rotura em que a tensão excessiva dos materiais é condicionante, seguido do Estado Limite de utilização cuja ocorrência provoca estragos pouco severos na estrutura e estão associados à duração das ações; neste último estado ir-se-á controlar a deformação e a vibração, situações desconfortáveis para o utilizador.

Pelos levantamentos efetuados optou-se por analisar uma área do 1º andar que está definida na figura 6.1 a tracejado. Nesta área o vão livre varia de 7,41 m a 5,87 m mais os apoios, por uma largura de 8,74 m.

Através da realização de medidas nas vigas da estrutura que estão expostas chegou-se a uma seção de 23 x 7,5 cm afastadas de 40 cm e soalho com 3,0 cm de espessura, conforme já definido no pormenor do pavimento da figura 3.12 na página 19.

Convém referir que a área referenciada é uma das mais desfavoráveis, porque existem duas escadas apoiadas nas vigas do pavimento, uma para acesso ao R/c e outra para acesso ao 2º andar, mais os esforços transmitidos pelo pavimento e paredes de compartimentação. Na envolvente das escadas a viga referenciada nas figuras 6.1 como V2 é a que está mais solicitada de todas, isto considerando que a escada de caracol é para retirar, ou caso seja para construir uma área habitacional no sótão será preciso dimensionar o seu apoio. No entanto, como não se podem efetuar janelas de inspeção nesta área não se sabe como a estrutura está construída, logo ir-se-á descurar a viga V2 e as escadas e avaliar esta área considerando unicamente as cargas permanentes do

6. Avaliação Estrutural

pavimento e as sobrecargas definidas no EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010).

Conforme se pode verificar na figura 3.11, que poderá ser observada com mais detalhe no anexo A.4 na página 104, as paredes de compartimentação de tabique quando alinhadas com as vigas estão diretamente sobre estas. Por este motivo, ao analisar a viga iremos considerar esta situação como a mais desfavorável.

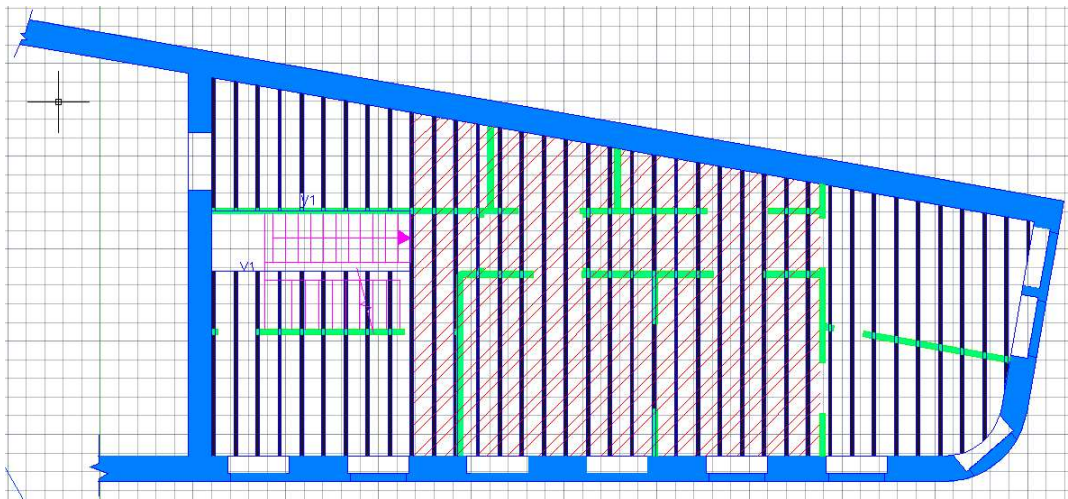


Figura 6.1.: Área do pavimento do 1º Andar a analisar

As paredes mestra apresentam uma largura total de de 0,55 m, que deduzindo as espessuras de reboco e orlas dos vãos, fica reduzida a uma largura útil de 0.45 m. Alguns autores e projetistas assumem que as vigas apoiam 2/3 da espessura da parede, no entanto numa primeira análise consideraremos 10 cm.

No caso do soalho analisar-se-á a situação mais desfavorável, que corresponde a uma distribuição uniforme e por área das paredes de compartimentação a exemplo das sobrecargas. Não se descarta as cargas inerentes ao teto e sua estrutura.

Relativamente aos tarugos, mais uma vez existe um problema inerente à impossibilidade de realizar janelas de inspeção para observar o espaçamento e seção destes elementos estruturais. Como existe no 1º andar um área em que o soalho está de tal modo degradado que possibilita visualizar a estrutura subjacente do pavimento, fez-se uma medição nesse local, tendo-se registado uma distancia de 2,4 m entre tarugos que será replicada para todo o vão útil.

Neste capítulo após terem sido apresentadas as bases de cálculo do projeto e as ações a considerar, irão ser realizados três cálculos estruturais, a saber:

1. No primeiro caso analisar-se-á uma tábua de soalho isoladamente.
2. Nos dois casos seguintes será analisada a área definida na figura 6.1 elaborando um comparativo entre:
 - a) um pavimento COM tarugos;
 - b) um pavimento SEM tarugos.

Retiradas as devidas ilações continuar-se-á com o dimensionamento e avaliação da estrutura de madeira do pavimento com os parâmetros definidos neste estudo.

6.1. Bases de Cálculo

6.1.1. Desempenho da Construção

De acordo com o EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010) ir-se-á considerar um período de 50 anos de vida útil da construção para efeitos de cálculo, para o qual se projetou a estrutura, correspondendo à classe 4 (“Edifícios e estruturas em geral”).

Na figura 6.1 apresenta-se uma tabela com as classificações definidas pelo EUROCÓDIGO 5 (2004) para o tempo de vida útil de projeto para um edifício corrente.

Tabela 6.1.: Valores indicativos do tempo de vida útil de projeto, EUROCÓDIGO 0 (2009)

<i>Categoria do tempo de vida útil de projecto</i>	<i>Valor indicativo do tempo de vida útil de projecto (anos)</i>	<i>Exemplos</i>
1	10	<i>Estruturas provisórias ¹⁾</i>
2	10 a 25	<i>Componentes estruturais substituíveis, por exemplo, vigas-carril, apoios</i>
3	15 a 30	<i>Estruturas agrícolas e semelhantes</i>
4	50	<i>Estruturas de edifícios e outras estruturas correntes</i>
5	100	<i>Estruturas de edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil</i>

¹⁾ *As estruturas ou componentes estruturais que podem ser desmontados, tendo em vista a sua reutilização, não deverão ser considerados como provisórias.*

6.1.2. Classe de Serviço

As classes de serviço destinam-se a definir as propriedades mecânicas dos materiais e a permitir o cálculo das deformações, em determinadas condições ambientais. O presente caso enquadrasse na classe 1 do EUROCÓDIGO 5 (2004), porque a estrutura está num ambiente interior protegido, caracterizando-se por um teor de humidade nos materiais correspondente a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ \text{C}$ e uma humidade relativa do ar que só exceda em 65 % algumas semanas no ano.

Nesta classe, o teor de humidade médio de equilíbrio higroscópico na maioria das coníferas não excede os 12 %. Situação que se enquadra no material da obra porque nos ensaios apresentados no capítulo precedente na página 51 medimos valores de 12,5 % para o soalho e 9,8% para as vigas.

6.1.3. Propriedades dos Materiais

As propriedades dos materiais usados nas estruturas de madeira estão associados a diversos conceitos:

- k_{def} , Fator de Deformação.
- K_{ser} , Módulo de Deslizamento.

Associado há resistência dos materiais estão outros conceitos:

- K_{mod} , Fator de Modificação.

6. Avaliação Estrutural

- K_h , Fator de Forma.

Atenção: O fator K_{mod} quando utilizado numa combinação de ações que é composta por ações pertencentes a diferentes classes de duração, deverá ser escolhido como o correspondente à ação de mais curta duração.

Estados Limites Utilização

A verificação aos estados limites de utilização de estruturas de madeira obriga à verificação da:

- Deformação dos elementos,

Este cálculo será realizado tendo em conta a u_{inst} , Deformação Instantânea das Peças sendo a u_{fin} , Deformação final calculada em função desta primeira.

No caso da n/estrutura já está instalada uma deformação a longo prazo u_{creep} , devido há fluência dos materiais.

- Vibração

Situação que se aplica sobretudo aos pavimentos para garantir os critérios de conforto e segurança.

Estados Limites Último

As diferentes verificações de segurança que são necessárias de realizar para este estado são as seguintes:

- Tração paralela e perpendicular ao fio;
- Compressão paralela e perpendicular ao fio;
- Flexão (simples, composta, desviada);
- Corte;
- Torção;
- Instabilidade (bambeamento e encurvadura).

Sendo que o valor de cálculo de uma propriedade obtém-se a partir da expressão:

$$X_d = K_{mod} * (X_k / \gamma_M) \quad (6.1)$$

K_h - Fator de Forma

γ_m - Coeficiente parcial de segurança, definido em função dos:

Estados limites últimos:

Combinações fundamentais: 1,3

Combinações acidentais: 1,0

Estados limites de serviço: 1,0

K_{mod} - Fator de Modificação

Para a classe de serviço 1, tem de se considerar os seguintes valores de K_{mod} , em função da classe de duração da carga,

Tabela 6.2.: Tabela classe de duração da carga; retirada do EC5, parágrafo 3.1.3, pág. 27

Classe de Duração da Carga	K_{mod}
Permanente =	0,60
Longa Duração =	0,70
Média Duração =	0,80
Curta Duração =	0,90
Instantânea =	1,10

Propriedades Resistentes

Tabela 6.3.: Valores Característicos da Madeira

Flexão	$f_{m,k}$
Tração Paralela às Fibras	f_{t0k}
Compressão Paralela às Fibras	$f_{c,0,k}$
Corte	$f_{v,k}$
Tração Perpendicular às Fibras	$f_{t,90,k}$
Compressão Perpendicular às Fibras	$f_{c,90,k}$

De acordo com a Norma Europeia EN384:2002 podem estimar-se relações entre diferentes propriedades da madeira para fins estruturais a partir da resistência à flexão $f_{m,k}$, da densidade $(\rho)_k$ e da Elasticidade Média Paralela às Fibras $E_{o,med}$, conforme se apresenta na tabela 6.4 de LOPES (2012).

Tabela 6.4.: Relação entre os valores Característicos de resistência da madeira, LOPES (2012)

Tracção paralela às fibras	$f_{t,0,k} = 0,6 f_{m,k}$	obtido a partir da tensão de flexão
Compressão paralela às fibras	$f_{c,0,k} = 5 (f_{m,k})^{0,45}$	obtido a partir da tensão de flexão
Corte paralelo às fibras	$f_{v,k} = \min, \begin{matrix} 3,8 \\ 0,2 (f_{m,k})^{0,8} \end{matrix}$	obtido a partir da tensão de flexão
Tracção perpendicular às fibras	$f_{t,0,k} = \min \begin{matrix} 0,6 \\ 0,0015 \rho_k \end{matrix}$	obtido a partir da massa volúmica
Compressão perpendicular às fibras	$f_{c,0,k} = 0,007 \rho_k$ (para Resinosas) $f_{c,0,k} = 0,015 \rho_k$ (para Folhosas)	obtido a partir da massa volúmica
Módulo de elasticidade perpendicular às fibras	$E_{90,med} = E_{0,med} / 30$ Resinosas $E_{90,med} = E_{0,med} / 15$ Folhosas	obtido a partir do E paralelo
Módulo de corte	$G_{med} = E_{0,med} / 16$	obtido a partir do E paralelo

Na quantificação dos valores de cálculo das tensões resistentes o Eurocódigo 5 sugere alterações na quantificação dos valores de cálculo da tensão resistente em determinadas situações, nomeadamente:

1. Para madeira maciça, os valores característicos $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, determinados de acordo com as EN338 e EN384, podem ser multiplicados pelo fator K_h (Fator de Forma), onde:

$$K_h = \min \left\{ \begin{matrix} \left(\frac{150}{h}\right)^{0,2} \\ 1,3 \end{matrix} \right. ; \text{ Para } h < 150 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Com h em mm, para a altura em flexão ou a largura em tração.

2. Em peças de madeira lamelada colada, os valores característicos $f_{m,k}$ e $f_{t,0,k}$, determinados de acordo com a EN1194, podem ser multiplicados pelo fator K_h (Fator de Forma), onde:

$$K_h = \min \left\{ \begin{matrix} \left(\frac{600}{h}\right)^{0,2} \\ 1,15 \end{matrix} \right. ; \text{ Para } h < 600 \text{ mm} \quad (6.3)$$

Com h em mm, para a altura em flexão ou a largura em tração.

Resumindo, a equação 6.1 passará a ser:

$$X_d = K_h * \frac{K_{mod} * X_k}{\gamma_M} \quad (6.4)$$

Exemplo:

Considere-se uma peça de madeira com uma secção transversal de 44 x 89 mm da classe resistente C18. Tendo em conta o coeficiente de altura, determinar os valores característicos para a tração e flexão.

Para a tração paralela: $f_{t,0,k} = (150/89)^{0,2} * 11 = 12,21 \text{ N/mm}^2$

Para a flexão: $f_{m,k} = (150/89)^{0,2} * 18 = 19,98 \text{ N/mm}^2$

Propriedades Rigidez

Tabela 6.5.: Propriedades Rigidez

Módulo de Elasticidade Paralelo Médio	$E_{0,med}$
Módulo de Elasticidade Perpendicular Médio	$E_{90,med}$
Módulo de Distorção	G
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$

Densidade = Massa Volúmica

Tabela 6.6.: Tabela Densidade e Módulo Elasticidade

Massa Volúmica Característica;	ρ_k
Massa Volúmica Média;	ρ_{med}

6.2. Ações

Numa primeira análise estrutural iremos efetuar os cálculos com o objetivo de obter as características mecânicas mínimas compatíveis com as verificações de segurança definidas no EUROCÓDIGO 5 (2004) para os materiais, EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010), EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-1 (2009) e EUROCÓDIGO 0 (2009) para os pesos próprios, ações, sobrecargas e de acordo com as regras e métodos definidos no EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-1 (2009) para a combinação de ações.

6.2.1. Ações Permanentes

De acordo com as Tabelas Técnicas de FARINHA/REIS (1993) os valores para ações permanentes são os seguintes:

1. Tetos:
 - a) Material de acabamento, estuque sobre fasquiado incluindo reboco e esboço - $0,40 \text{ kN/m}^2$;
 - b) Esteira de madeira que consiste na estrutura para fixação do fasquiado que é composta por barrotes com uma seção de $5 \times 7 \text{ cm}$ (deitados) afastados de 27 cm , cujo material se desconhece - $0,20 \text{ kN/m}^2$.

Assim sendo, existem cargas pontuais aplicadas na face inferior da viga, com afastamento de $0,27 \text{ m}$, com o valor de $0,08 \text{ kN}$ devido ao acabamento do teto dos compartimentos.

2. Paredes de compartimentação em tabique de madeira fasquiada - $1,35 \text{ kN/m}^2$ vezes uma altura de $3,75 \text{ m}$ (pé direito) .

6. Avaliação Estrutural

De acordo com o parágrafo 6.3.1.2 (8) do EUROCÓGIO 1, PARTE 1-1 (2009):

Desde que um pavimento possua uma constituição que permita uma distribuição eficaz de cargas, o peso próprio das divisórias amovíveis poderá ser considerado como uma q_k (Carga Uniformemente Distribuída). Essa carga uniformemente distribuída depende do peso próprio das divisórias, tomando os seguintes valores:

- para divisórias amovíveis com um peso próprio $\leq 1,0 \text{ kN/m}$ de comprimento de parede: $q_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$;
- para divisórias amovíveis com um peso próprio $> 1,0 \text{ kN/m}$ e $\leq 2,0 \text{ kN/m}$ de comprimento de parede: $q_k = 0,8 \text{ kN/m}^2$;
- para divisórias amovíveis com um peso próprio $> 2,0 \text{ kN/m}$ e $\leq 3,0 \text{ kN/m}$ de comprimento de parede: $q_k = 1,2 \text{ kN/m}^2$;

Para as divisórias mais pesadas, $> 3,0 \text{ kN/m}$ de comprimento de parede, aplica-se o que está definido no parágrafo 6.3.1.2 (9) do EUROCÓGIO 1, PARTE 1-1 (2009):

As divisórias mais pesadas deverão ser consideradas no projeto tendo em conta:

- as localização e direções das divisórias;
- o tipo de estrutura do pavimento.

Será o que está definido neste parágrafo 6.3.1.2 (9) do EUROCÓGIO 1, PARTE 1-1 (2009) a situação que se aplica a esta estrutura do pavimento porque as paredes divisórias por metro linear pesam $5,6625 \text{ kN/m}$.

3. Peso próprio das vigas conforme definido no capítulo anterior.

A densidade para um valor de teor em água de 12,5% é de 747 Kg/m^3 , que aplicado a uma seção das vigas de 23 x 7,5 cm :

$$747 * 10/102 * 23 * 0,075 = 1,26 \text{ kN/m}$$

4. Peso próprio do soalho conforme definido no capítulo anterior.

A densidade para um valor de teor em água de 9,8% é de 658 Kg/m^3 , que aplicado a uma espessura do soalho :

$$658 * 10/102 * 0,027 = 1,74 \text{ kN/m}^2$$

No dimensionamento da estrutura considerou-se que cada tábua do pavimento tem uma largura média de 15,5 cm e um comprimento médio de 3,0 m.

6.2.2. Sobrecargas

De acordo com o Anexo Nacional do EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010):

- as zonas dos edifícios residenciais devem ser divididas em categorias, de acordo com as suas utilizações específicas, que no presente caso corresponde à categoria A.
- em função da categoria A podem definir-se os valores para as sobrecargas em pavimentos habitacionais:
 1. Cargas uniformemente distribuídas, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$
 2. Cargas concentradas, $Q_k = 2,0 \text{ kN}$

6.2.3. Combinações de Ações - Estados Limites Últimos

De acordo com o Anexo Nacional do EUROCÓDIGO 0 (2009) as combinações de ações para situações de projeto transitórias ou persistentes, combinações fundamentais, serão definidas em função das seguintes equações:

Tabela 6.7.: Quadro NA-A1.2(B) - Valores de Cálculo das ações (STR)

Situações de projecto persistentes e transitórias	Ações permanentes		Pré-esforço	Acção variável de base da combinação ^{*)}	Acções variáveis acompanhantes ^{*)}
	Desfavoráveis	Favoráveis			
(Expressão 6.10)	$\gamma_{Gj,sup} G_{kj,sup}$	$\gamma_{Gj,inf} G_{kj,inf}$	γ_P	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
^{*)} As acções variáveis são as consideradas no Quadro A1.1 NOTA: Os valores de γ_i que devem ser adoptados são os seguintes: $\gamma_{Gj,sup} = 1,00$ $\gamma_{Gj,inf} = 1,00$ $\gamma_{Q,1} = 1,30$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis) $\gamma_{Q,i} = 1,30$ nos casos desfavoráveis (0 nos casos favoráveis) γ_P - os valores deste coeficiente constam dos Eurocódigos aplicáveis.					

Que resumidamente será a seguinte equação Resistência / Estruturais (str):

$$E_d = 1,35 * G_k + 1,50 * Q_k \quad (6.5)$$

Quando se considera um estado limite de rotura de um elemento estrutural deve de ser satisfeita a desigualdade:

$$E_d \leq R_d \quad (6.6)$$

E_d - Valor de cálculo do efeito das ações.

R_d - Valor de cálculo correspondente ao valor limite do critério de utilização.

6.2.4. Combinações de Ações - Estados Limites Utilização

De acordo com o EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 (2010) "as combinações de ações a ter em conta nas situações de projeto consideradas deverão ser adequadas aos requisitos de utilização e aos critérios de desempenho a verificar.

Combinação Característica

Esta combinação é utilizada para os estados limites irreversíveis.

$$E_d = G_k + \psi_0 * Q_k \quad (6.7)$$

Combinação Frequente

Esta combinação é utilizada para os estados limites reversíveis.

$$E_d = G_k + \psi_1 * Q_k \quad (6.8)$$

Combinação Quase-Permanente

Esta combinação é utilizada para os efeitos longo prazo e para o aspeto da estrutura.

$$E_d = G_k + \psi_2 * Q_k \quad (6.9)$$

De acordo com o quadro A.1.1 do Anexo Nacional do EUROCÓDIGO 0 (2009) os valores dos coeficientes ψ para edifícios da categoria A são os seguintes:

$$\psi_0 = 0,7$$

$$\psi_1 = 0,5$$

$$\psi_2 = 0,3$$

Deve verificar-se que:

$$E_d \leq C_d \quad (6.10)$$

E_d - Valor de cálculo do efeito das ações.

C_d - Valor nominal ou uma função dos valores de cálculo de certas propriedades dos materiais.

6.3. Estudo de Modelos Estruturais

Para a análise estrutural do edifício em estudo construiu-se um modelo numérico com recurso ao software Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014, que recorre ao método dos elementos finitos para cálculo automático da resposta da estrutura, neste caso considerando uma análise elástica linear. Foi necessário modelar e configurar as propriedades dos materiais constituintes, as secções dos elementos estruturais, as massas, as cargas aplicadas à estrutura.

Tendo como base a realização dos cálculos pelo *Método dos Coeficientes Parciais*, realizar-se-á um dimensionamento estrutural de três maneiras conforme exposto na página 60.

6.3.1. Primeiro Modelo de Cálculo

Começa-se por analisar uma tábua isoladamente e duplamente apoiada nas vigas. Obteve-se os diagramas de esforços atuantes definidos na figura 6.2 aplicando as cargas e condições definidas nos próximos parágrafos.

Considerando no estudo uma tábua de soalho com 3,0 m de comprimento, uma largura média de 15,5 cm e 2,7 de espessura apoiada (apoios duplos) nas vigas com a seção de 23 cm por 7,5 cm, afastadas entre eixos de 47,5 cm.

Para as ações no pavimento transformamos a carga por m^2 , numa carga linear considerando uma largura da tábua de 0,155 m.

$$Q = 1,35 * (PP_{soalho}) * 0,155 + 1,50 * (Sob_{Pav} * 0,155 + Sob_{ParCompart}) \quad (6.11)$$

$$Q = 1,35 * 1,74 * 0,155 + 1,50 * (2,0 * 0,155 + 5,0625) = 8,4 \text{ kN/ml}$$

Ao analisar esta tábua do soalho considerou-se a estrutura total do pavimento sem tarugos, conforme definida na figura 3.24 na página 26, considerando como cargas atuantes o peso próprio do soalho, sobrecargas do pavimento e a sobrecarga correspondente a uma parede de compartimentação alinhada pelo eixo longitudinal da tábua de soalho, não deduzindo vãos. Esta situação de cargas será a mais desfavorável. Na figura 6.2 poderá ver-se de forma reduzida os esforços resultantes que poderão ser consultados em tamanho A4 no anexo A.10 na página 129.

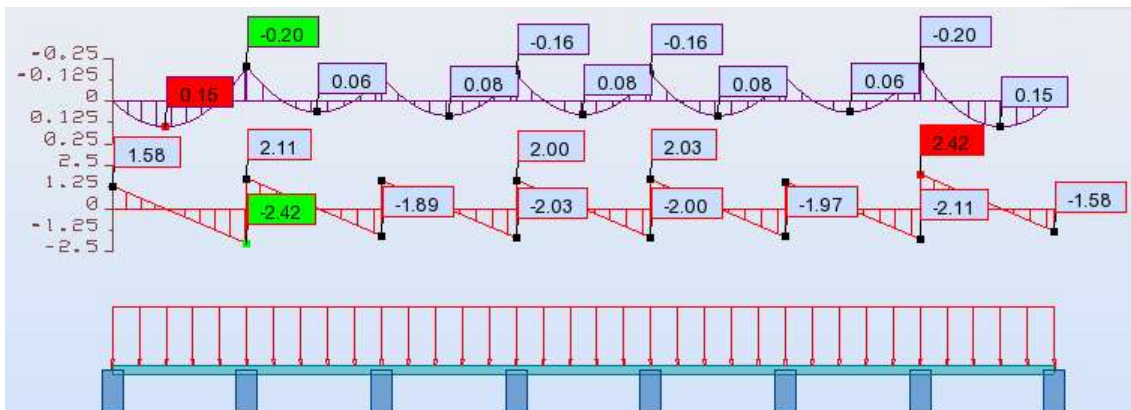


Figura 6.2.: Diagramas dos Esforços Atuantes sobre uma tábua do soalho, com vão livre de $L_i = 0,40m$ e vão entre apoios de $0,475 m$

O valor máximo para o esforço transverso é o seguinte:

$$V_{Ed} = 2,42 \text{ kN}$$

O valor máximo para o momento é o seguinte:

$$M_{Ed} = -0,20 \text{ kN.m}$$

6.3.2. Segundo Modelo de Cálculo

Neste segundo procedimento de cálculo analisar-se-á a área de pavimento definido na figura 6.1 na página 60 utilizando o programa de cálculo (ROBOT) e aplicando as cargas e condições que serão expostas no próximo parágrafo.

Ao analisar esta área considerou-se a estrutura total do pavimento sem tarugos, conforme está pormenorizada na figura 3.24 na página 26. Como cargas atuantes foram considerados o peso próprio do soalho, o peso próprio do teto, sobrecargas de pavimento e a sobrecarga correspondente às paredes de compartimentação que a seguir se apresentam.

OBS: Deve-se referir que considerou-se todas as cargas aplicadas na face superior da seção das vigas.

- Peso próprio do soalho $1,74kN/m^2$.
- Peso próprio das vigas $1,26kN/ml$.
- Peso próprio do teto $0,08kN$ o teto apoia na viga do pavimento através de barrotes espaçados de 27 cm. Considerou-se cargas pontuais atuantes na face superior da seção da viga, espaçadas de 27 cm.
- Sobrecarga do pavimento $2,0kN/m^2$.
- Sobrecarga das paredes de compartimentação $5,0625kN/ml$.

Considerou-se 10 cm como entrega das vigas na parede, que também precisa de ser confirmado no prédio.

Na figura 6.3 poderá ver-se a estrutura do pavimento com as cargas lineares das paredes de compartimentação que estão sobre as vigas quando tem o mesmo alinhamento que poderão ser consultados em tamanho A4 no anexo A.10 na página 129.

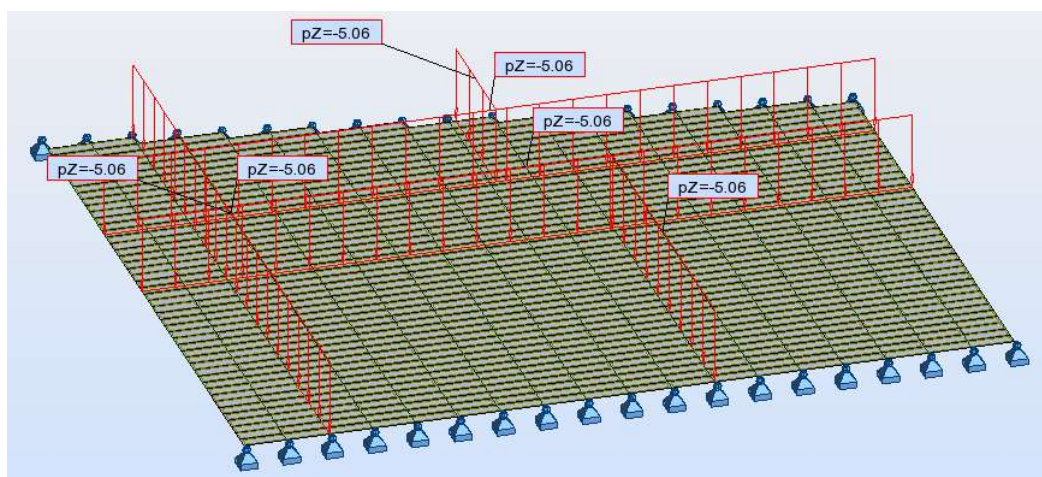


Figura 6.3.: Esquema da estrutura do pavimento, sem tarugos e com as cargas das paredes definidas

Os esforços atuantes máximos para a viga mais desfavorável (sem tarugos) são os seguintes:

- Para o esforço transverso:

$$V_{Ed} = 48,22 \text{ kN}$$

- Para o momento máximo:

$$M_{Ed,x} = 1,20 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed,y} = 25,62 \text{ kN.m a meio vão}$$

Neste ponto é pertinente fazer uma explanação sobre os sistemas de coordenadas do projeto estrutural, o sistema de coordenadas locais de cada elemento, e o sistema de coordenadas do método dos elementos finitos. No caso da madeira, tendo em consideração a sua anisotropia este tema é importante.

O projeto estrutural atrás apresentado foi feito recorrendo ao programa de cálculo designado por ROBOT. No presente caso impôs-se ao programa que o eixo de coordenadas geral, que serve de base para o desenho da estrutura, fosse coincidente com o eixo de coordenadas local de cada elemento estrutural. Recorde-se que este programa utiliza para o cálculo dos esforços o Método dos Elementos Finitos.

Na figura 6.4 retirada do próprio projeto pode-se observar o referencial global, no canto esquerdo inferior do programa, e o local em cada elemento. Pode-se verificar que o eixo dos xx' é paralelo aos fio das tábuas do soalho. O mesmo acontece no caso do eixo de coordenadas locais da viga.

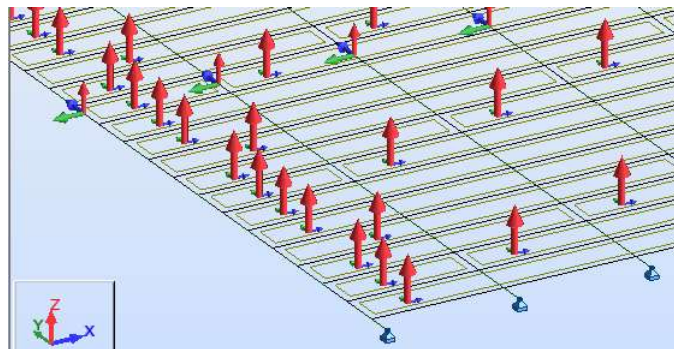


Figura 6.4.: Eixos Coordenadas locais e Global

Agora passe-se ao eixo sistema de eixos convencional para o método de cálculo por elementos finitos que está alinhado pelo eixo local de cada elemento.



Figura 6.5.: Eixos Coordenadas Método de Cálculo por Elementos Finito

No caso em estudo todos os eixos estão alinhados.

6.3.3. Terceiro Modelo de Cálculo

Neste terceiro procedimento de cálculo aplicar-se-á tudo o que foi exposto no parágrafo anterior com uma alteração na estrutura do pavimento, serão inseridos tarugos.

Na figura 6.6 poderá ver-se a estrutura do pavimento com os tarugos e vigas representados.

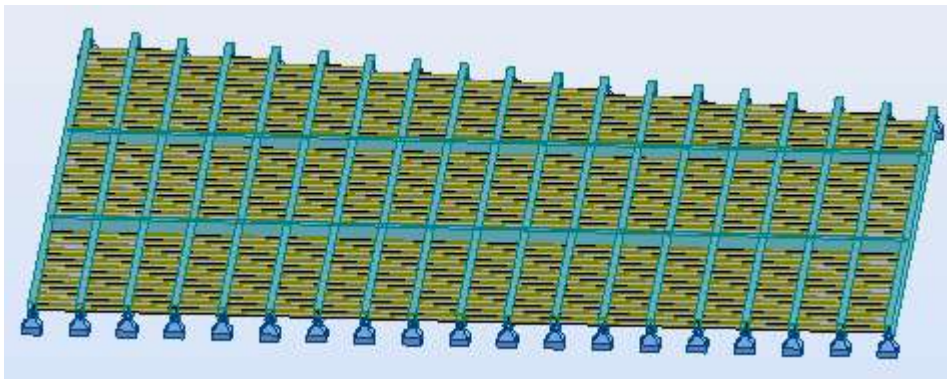


Figura 6.6.: Esquema da estrutura do pavimento, com tarugos

Os esforços atuantes máximos para a viga mais desfavorável (com tarugos) são os seguintes:

- Para o esforço transversor:

$$V_{Ed} = 43,90 \text{ kN}$$

- Para o momento máximo:

$$M_{Ed,x} = 1,36 \text{ kN.m}$$

$$M_{Ed,y} = 23,29 \text{ kN.m a meio vão}$$

6.3.4. Conclusão

Na tabela 6.8 pode-se analisar comparativamente os valores obtidos nas seções precedentes para os esforços atuantes na viga mais solicitada e com maior vão da área que foi analisada.

Tabela 6.8.: Tabela comparativa dos esforços atuantes numa das vigas do pavimento com e sem tarugos

Esforços Atuantes	Viga sem Tarugos	Viga com Tarugos
$M_{Ed,y} =$	25,62 kN.m	23,29 kN.m
$M_{Ed,x} =$	1,36 kN.m	1,20 kN.m
$V_{Ed} =$	48,20 kN	43,09 kN

Constata-se uma redução de 9% no valor do corte transversal porque com tarugos há uma distribuição dos esforços.

Devido a esta distribuição de esforços o momento atuante no sentido inverso está o momento $M_{Ed,y}$ (perpendicular ao alinhamento do fio) tem uma redução muito ligeira (3%) e o momento $M_{Ed,x}$ (paralelo ao alinhamento do fio) e responsável pela instabilidade lateral-torcional aumentou (14%) distribuindo este esforço pelos tarugos.

6.4. Dimensionamento Estrutural

6.4.1. Estados Limites Últimos Do Soalho

Com os valores obtidos na seção 6.3.1 na página 69 para os esforços atuantes e com a classe de resistência definida na seção 5.2.5 na página 56 proceder-se-á à verificação estrutural do soalho.

$$V_{Ed} = 2,42 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -0,20 \text{ kN.m}$$

A classe de resistência do soalho definida no capítulo 5.2.5 foi a C16 a que correspondem os valores apresentados na tabela 6.9.

Tabela 6.9.: Valores Característicos da Classe de Resistência C16

Flexão;	$f_{m,k} = 16 \text{ MPa}$
Tração paralela;	$f_{t,0,k} = 10 \text{ MPa}$
Tração Perpendicular;	$f_{t,90,k} = 0,5 \text{ MPa}$
Compressão Paralela;	$f_{c,0,k} = 17 \text{ MPa}$
Compressão Perpendicular;	$f_{c,90,k} = 2,2 \text{ MPa}$
Corte;	$f_{v,k} = 1,8 \text{ MPa}$

Características geométricas

Momento de inércia paralelo ao fio, não esquecendo que se está a analisar uma tábua do soalho:

$$I_{yy} = \frac{0,155 * 0,027^3}{12} = 2,5424 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

6. Avaliação Estrutural

Distância do eixo de inércia à fibra em análise:

$$z = 0,0135 \text{ m}$$

Flexão Simples

Em peças sujeitas a flexão simples paralela ao fio, a verificação da segurança é validada pela seguinte equação:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{I} * z \leq f_{m,d} \quad (6.12)$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{0,20}{2,5424 * 10^{-7}} * 0,0135 = 10,6 \text{ MPa} \leq f_{m,d}$$

$f_{m,d} \geq 10,6 \text{ MPa}$ é o valor de cálculo para a flexão simples. O passo seguinte será calcular o valor de cálculo da resistência à flexão da madeira da classe C16.

O peso próprio do soalho é uma carga permanente, o peso próprio das paredes de compartimentação assim como a sobrecarga do pavimento, são cargas de longa duração, logo o valor do K_{mod} será o correspondente à carga de menor duração, classe de serviço 1, madeira maciça dado pela tabela 3.1 do EUROCÓDIGO 5 (2004), ou seja 0,70.

Conforme já exposto anteriormente no caso da flexão pode-se reduzir o valor característico através de outro fator de modificação K_h em função da seção em análise.

$$K_h = (150/27)^{0,2} = 1,41$$

Como uma das condições para aplicação deste fator é a de que tem de ser $< 1,3$ teremos de considerar que $K_h = 1,3$.

Para as combinações fundamentais o valor de $\gamma_m = 1,3$.

Logo aplicando a equação:

$$X_d = K_h * K_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (6.13)$$

$$X_d = 1,3 * 0,70 * \frac{X_k}{1,3}$$

O que permitirá calcular a resistência de cálculo para a tensão à flexão simples paralela ao fio .

$$f_{m,d} = 1,3 * 0,70 * \frac{16}{1,3} \iff f_{m,d} = 11,2 \text{ MPa}$$

Concluí-se que para a flexão simples está cumprida a condição apresentada na equação 6.6 apresentada na página 67 para os estados limites últimos à flexão, ou seja:

$$E_d \leq R_d$$

$$f_{E,d} \leq f_{m,d} \iff 10,6 \text{ MPa} \leq 11,2 \text{ MPa}, \text{ Verifica}$$

Corte

Esta verificação tem em consideração o corte perpendicular ao fio. No caso de peças sujeitas somente à flexão deve de ser considerada uma largura reduzida de secção, b_{ef} , na verificação do corte por causa do efeito de fendas, considerando que para madeiras maciças o $K_{crit} = 0.67$.

$$b_{ef} = K_{crit} * b \quad (6.14)$$

$$b_{ef} = 0,67 * 0,155 = 0,10385 \text{ m}$$

Considerando que estamos perante uma tábua do soalho com secção retangular:

$$\tau_{s,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{sd}}{b_{ef} * h} \quad (6.15)$$

$$\tau_{s,d} = \frac{3}{2} * \frac{2,42}{0,10385 * 0,027} = 1.294,6 \text{ kPa} \approx 1,3 \text{ MPa}$$

A verificação dá-se quando:

$$\tau_{s,d} \leq f_{v,d} \iff 1,3 \text{ MPa} \leq f_{v,d}$$

Agora calcula-se o valor de cálculo característico para a resistência ao corte perpendicular ao fio da madeira do soalho.

$$f_{v,d} = 0,70 * \frac{1,8}{1,3} \iff f_{v,d} = 0,97 \text{ MPa}$$

Conclui-se que para o corte **NÃO** está cumprida a condição apresentada na equação 6.6 na página 67 para os estados limites últimos ao corte, ou seja:

$$E_d \leq R_d$$

$$\tau_{s,d} \leq f_{v,0,d} \iff 1,3 \text{ MPa} \leq 0,97 \text{ MPa}$$

NÃO verifica.

Invertendo a situação podemos definir um valor de resistência mínimo para o corte a exemplo do realizado para a flexão.

$$1,3 = 0,70 * \frac{f_{v,k}}{1,3} \iff f_{v,k} \geq 2,4 \text{ MPa}$$

Conclusões

O soalho verifica os esforços à flexão a que está sujeito mas não suporta os esforços de corte.

Recordando que se optou pela segurança na definição da classe de resistência e consultando a ficha do produto de alguns fornecedores, como se poderá ver na tabela 6.10 obtida da MADEI-CENTRO (2015), com a realização dos ensaios mais específicos certamente se encontrará valores que se enquadrem nas necessidades impostas pela avaliação estrutural.

Tabela 6.10.: Ficha técnica do Pinho Bravo fornecida pela MADEICENTRO (2015)

Propriedades Físicas		
Densidade a 12% (kg/m ³)	520	Leve a Moderadamente Pesada
Retracção (%)		
Tangencial	5.98	Baixa
Radial	3.22	Baixa

Propriedades Mecânicas		
Flexão Estática Tensão de rotura (N/mm ²)	83.5	Baixa
Compressão Axial Tensão de rotura (N/mm ²)	48	Média
Tracção Transversal Tensão de rotura (N/mm ²)	2.3	Baixa

Também não será de descurar a quase certa alteração da seção decorrente da necessidade de regularização da superfície do soalho para resolver a anomalia dois apresentada na página 31.

6.4.2. Estados Limites Últimos Das Vigas

Para as vigas principais do pavimento no seguimento das conclusões obtidas na seção 6.3.3 na página 72 para os esforços atuantes e das conclusões a que se chegou na seção 5.2.5 na página 56 para os ensaios realizados com vista á definição das características físicas e mecânicas, vai-se aplicar as seguintes condições:

$$V_{Ed} = 43,09 \text{ kN}$$

$$M_{yy,Ed} = 23,29 \text{ kN/ml}$$

$$M_{xx,Ed} = 1,20 \text{ kN/ml}$$

Relativamente às características mecânicas como foram inconclusivos os ensaios para definição da classe de resistência, definiu-se no capítulo 5.2.5 da página 56 a classe a D70 para realização da avaliação. Para a classe D70 as propriedades mecânicas são as que estão apresentadas na tabela 6.11.

Tabela 6.11.: Valores Característicos da Classe de Resistência D70

Flexão;	$f_{m,k} = 70 \text{ MPa}$
Tração paralela;	$f_{t,0,k} = 42 \text{ MPa}$
Tração Perpendicular;	$f_{t,90,k} = 0,6 \text{ MPa}$
Compressão Paralela;	$f_{c,0,k} = 34 \text{ MPa}$
Compressão Perpendicular;	$f_{c,90,k} = 13,5 \text{ MPa}$
Corte;	$f_{v,k} = 6,0 \text{ MPa}$

E para as propriedades de rigidez os valores são os que se apresentam na tabela 6.12.

Tabela 6.12.: Propriedades Rigidez para a classe de resistência D70

Módulo de Elasticidade Paralelo Médio	$E_{0,med} = 20 \text{ GPa}$
Módulo de Elasticidade Perpendicular Médio	$E_{90,med} = 1,33 \text{ GPa}$
Módulo de Distorsão	$G = 1,25 \text{ GPa}$
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05} = 16,8 \text{ GPa}$

Características geométricas

Momento de inércia:

$$I = \frac{.075 * 0.23^3}{12} = 7,6044 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

Distância do eixo de inércia à fibra em análise:

$$z = 0,115 \text{ m}$$

Flexão

Aplicando a equação 6.12 apresentada na página 74.

$$\sigma_{m,d} = \frac{23,29}{7,6044 * 10^{-5}} * 0,115 = 35.221,17 \text{ kN.m} \approx 35,2 \text{ MPa}$$

O peso próprio da viga é uma carga permanente e o peso próprio das paredes de compartimentação, assim como a sobrecarga do pavimento, são cargas de longa duração. Logo o valor do K_{mod} será o correspondente à carga de menor duração, classe de serviço 1, madeira maciça dado pela tabela 3.1 do EUROCÓDIGO 5 (2004), ou seja 0,70.

Conforme já exposto anteriormente no caso da flexão podemos afetar o valor característico de outro fator de modificação K_h em função da seção em análise.

$$K_h = (150/230)^{0,2} = 0,92$$

Para as combinações fundamentais o valor de $\gamma_m = 1,3$.

Aplicando a equação 6.13 apresentada na página 74.

$$X_d = 0,92 * 0,70 * \frac{X_k}{1,3}$$

6. Avaliação Estrutural

A partir destes valores podemos definir um limite para o valor característico para a tensão à flexão simples, paralela ao fio, que a madeira da viga terá de ter para suportar as cargas a que está sujeita.

$$35,2 = 0,92 * 0,70 * \frac{f_{m,k}}{1,3} \iff f_{m,k} \geq 71,0 \text{ MPa}$$

$$f_{m,k} \geq 71,0 \text{ MPa}$$

Corte

Agora vamos aplicar o mesmo procedimento para um valor de corte transversal de $V_{Ed} = 43,098 \text{ kN}$.

Esta verificação tem em consideração o corte perpendicular ao fio. Conforme já exposto na seção 6.4.1 na página 75, no caso de peças sujeitas somente à flexão deve de ser considerada uma largura reduzida de secção, b_{ef} , na verificação do corte por causa do efeito de fendas.

$$b_{ef} = 0,67 * 0,075 = 0,05025 \text{ m}$$

Considerando que estamos perante uma viga com secção retangular:

$$\tau_{s,d} = \frac{3}{2} * \frac{V_{sd}}{b_{ef} * h} \iff \tau_{s,d} = \frac{3}{2} * \frac{43,09}{0,05025 * 0,23} = 5.592,47 \text{ kPa} \approx 5,6 \text{ MPa}$$

A verificação dá-se quando:

$$\tau_{s,d} \leq f_{v,d} \iff 5,6 \text{ MPa} \leq f_{v,d}$$

Agora vamos calcular o valor característico para a resistência ao corte perpendicular ao fio que a madeira da viga terá de suportar para as ações a que está sujeita.

$$5,6 = 0,70 * \frac{f_{v,k}}{1,3} \iff f_{v,k} \geq 10,41 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} \geq 10,4 \text{ MPa}$$

Instabilidade Lateral-Torsional (Bambeamento)

Para as vigas do pavimento tem de se fazer a verificação à flexão simples com instabilidade lateral-torsional, para uma situação em que só existe um momento relativamente ao eixo de maior resistência para os estados limites últimos, conforme se segue. Nestes casos as tensões de cálculo e resistente têm de satisfazer a seguinte condição:

$$\sigma_{m,d} \leq K_{crit} * f_{m,d} \tag{6.16}$$

Devendo-se seguir o seguinte esquema de cálculo:

1. Definição da tensão crítica à flexão,

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi * \sqrt{E_{0,005} * I_z * G_{0,005} * I_{tor}}}{l_{ef} * W_y} \tag{6.17}$$

- I_z : Momento de inércia (eixo fraco z);
 I_{tor} : Momento de inércia torsional;
 $E_{0,05}$: Módulo de elasticidade 5º percentil;
 $G_{0,05}$: Módulo de distorção 5º percentil;
 l_{ef} : Comprimento de encurvadura.

2. Definição da esbelteza relativa da peça,

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.18)$$

3. Definição do K_{crit} , conforme se segue,

$$K_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{para } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 * \lambda_{rel,m} & \text{para } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{para } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

4. Verificação da condição inicial definida pela equação 6.16.

Para se saber o comprimento efetivo l_{ef} recorre-se à tabela 6.1 do EC5 que está transcrita na tabela 6.13.

Tabela 6.13.: Propriedades Rigidez

Condições de Apoio da Viga	Tipo Carregamento	l_{ef}/l^a
Simplesmente apoiada e	Momento Constante	1,0
	Carga Uniformemente Distribuída	0,9
	Carga Concentrada a Meio Vão	0,8
Consola e	Carga Uniformemente Distribuída	0,5
	Carga Concentrada na Extremidade Livre	0,8

A tabela 6.13 tem as seguintes condicionantes:

- 1) O rácio entre o comprimento efetivo l_{ef} e o vão l^a é válido para uma viga restringida à torção nos seus apoios e com a carga aplicada no centro de gravidade.
- 2) Se a carga está aplicada na extremidade comprimida da seção l_{ef} deve de ser acrescido de 2h.
- 3) Se a carga está aplicada na extremidade tracionada da seção l_{ef} deve de ser deduzido de 0,5h.

Neste projeto as vigas do pavimento do prédio estão simplesmente apoiadas com carga uniformemente distribuída, logo o rácio correspondente será o seguinte:

$$\frac{l_{ef}}{l^a} = 0,9 \quad (6.19)$$

E como a carga está aplicada na extremidade comprimida da viga ao valor de l_{ef} deve-se somar 2h.

6. Avaliação Estrutural

A viga em estudo tem um comprimento entre apoios de 7,43 ml, logo:

$$l_{ef} = 7,43 * 0,9 + 2 * 0,23 \approx 7,15ml \quad (6.20)$$

O momento de inércia torcional é definido pela equação 6.21.

$$I_{tor} = b * h^3 * [0,333 - 0,210 * (\frac{h}{b}) + 0,0176 * (\frac{h}{b})^5] \quad (6.21)$$

Procedimento de cálculo:

Neste procedimento de cálculo vamos aplicar uma linha de ação diferente, ou seja,

1. $I_z = \frac{0,23 * 0,075^3}{12} = 8,1 * 10^{-6} m^4$
2. $I_{tor} = 0,23 * 0,075^3 * [0,333 - 0,210 * (\frac{0,075}{0,23}) + 0,0176 * (\frac{0,075}{0,23})^5] = 2,6 * 10^{-5} m^4$
3. $l_{ef} \approx 7,15ml$
4. $W_y = \frac{0,075 * 0,23^2}{6} = 6,6125 * 10^{-4} m^3$
5. $\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi * \sqrt{16,8 * 10^6 * 8,1 * 10^{-6} * 1,25 * 10^6 * 2,6 * 10^{-5}}}{7,15 * 6,6125 * 10^{-4}} = 44.189,29 \approx 44,2MPa$
6. $\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{70}{44,2}} = 1,26$
7. $K_{crit} = 1,56 - 0,75 * 1,26 = 0,615$
8. $35,2 \leq 0,615 * f_{m,d} \iff f_{m,d} \geq 57,2MPa$
9. $57,2 = 0,92 * 0,70 * \frac{f_{m,k}}{1,3} \iff f_{m,k} \geq 115,5 MPa$

6.4.3. Estados Limites Utilização das Vigas

Nesta seção só irá ser avaliado o Estado Limite de Deformação devido a não terem sido realizados ensaios de vibração. No entanto, é de realçar que existe uma flecha devido à fluência dos materiais que certamente ocorreu no mais de um século de vida do edifício. Este valor também não foi aferido pelo que será analisada a flecha instantânea e respetiva flecha final.

Estado Limite da Deformação

Todas as peças tem uma deformação instantânea u_{inst} . Com o passar do tempo da vida útil da peça passa a declarar-se uma deformação por fluência dos materiais u_{creep} . A deformação final líquida $u_{net,fin}$ corresponde há soma destas duas. As deformações dependem do teor de humidade, do tempo de atuação das ações e da dimensão da carga agravando-se proporcionalmente. Também existe a possibilidade de se considerar outra deformação que é instalada pelo projetista, denominada contra flecha u_c que corresponde a uma flecha aplicada à peça no sentido oposto às restantes flechas, conforme se pode visualizar na figura 6.7.

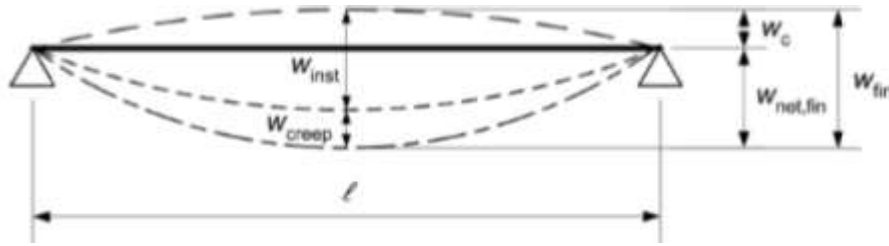


Figura 6.7.: Componentes da flecha, EUROCÓDIGO 5 (2004)

A deformação final "... é dada pelo somatório das deformações provocadas pelas ações e combinações a considerar, tendo em conta o coeficiente de fluência k_{def} ..." COSTA (2013), que poderá ser consultado na tabela 6.14.

Tabela 6.14.: Valores de k_{def} , EUROCÓDIGO 5 (2004)

Material	Classe de serviço		
	1	2	3
Madeira maciça	0,60	0,80	2,00
Madeira lamelada colada	0,60	0,80	2,00
LVL	0,60	0,80	2,00

- A Deformação Instantânea das Peças, u_{inst} é calculada para a combinação característica das ações, utilizando valores médios dos módulos de elasticidade.
- A Deformação final, u_{fin} é calculada para a combinação de ações quase-permanentes.

"Para estruturas constituídas por elementos, componentes e ligações com as mesmas características de fluência, e na hipótese de uma relação linear entre as ações e as deformações correspondentes, como simplificação, a Deformação final, u_{fin} , poderá ser considerada igual ... ", COSTA (2013) a:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + u_{fin,Q_i} \quad (6.22)$$

Em que:

- Para uma ação permanente, G:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} * (1 + K_{def}) \quad (6.23)$$

- Para a ação variável de base de combinação, Q_1 :

$$u_{fin,Q_1} = u_{inst,Q_1} * (1 + \psi_{2,1} * K_{def}) \quad (6.24)$$

6. Avaliação Estrutural

- Para os valores acompanhantes das ações variáveis, Q_i em ($i > 1$):

$$u_{fin,Q_i} = u_{inst,Q_i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * K_{def}) \quad (6.25)$$

- $u_{inst,G}$ - Deformações instantâneas para a ação G_1
- u_{inst,Q_1} - Deformações instantâneas para a ação Q_1
- u_{inst,Q_i} - Deformações instantâneas para a ação Q_i
- $\psi_{2,1}$ - Coeficientes para o valor quase-permanente das ações variáveis
- $\psi_{2,i}$ - Coeficientes para o valor quase-permanente das ações variáveis
- $\psi_{0,i}$ - Coeficientes para o valor de combinação característica das ações variáveis

Relativamente à definição dos valores máximos de flecha admissíveis o Documento Nacional de Aplicação do EUROCÓDIGO 5 (2004) apresenta a tabela 6.15 para o valor da flecha final $u_{net,fin}$ cujo valor é dado pela seguinte expressão:

$$u_{net,fin} = u_{inst} + u_{creep} - u_c \quad (6.26)$$

Tabela 6.15.: Valores de $u_{net,fin}$ de acordo com o DAN do EUROCÓDIGO 5 (2004)

	$w_{net,fin}$	
	Simplemente apoiada	Consola
Coberturas em geral	$\ell/200$	$\ell/100$
Coberturas utilizadas frequentemente por pessoas, para além do pessoal de manutenção	$\ell/250$	$\ell/125$
Pavimentos em geral	$\ell/250$	$\ell/125$
Pavimentos e coberturas que suportem rebocos ou outros acabamentos frágeis, ou divisórias não flexíveis	$\ell/250$	$\ell/125$
Quando $w_{net,fin}$ possa afectar o aspecto do edifício	$\ell/250$	$\ell/125$

Contudo o EUROCÓDIGO 5 (2004) também define valores máximos para a u_{inst} e u_{fin} conforme tabela infra.

Tabela 6.16.: Valores de u_{inst} e u_{fin} de acordo com o EUROCÓDIGO 5 (2004)

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Viga sobre dois apoios	$\ell/300$ a $\ell/500$	$\ell/250$ a $\ell/350$	$\ell/150$ a $\ell/300$
Viga em consola	$\ell/150$ a $\ell/250$	$\ell/125$ a $\ell/175$	$\ell/75$ a $\ell/150$

A flecha poderá ser calculada utilizando a equação:

$$u \leq \frac{5}{384} * \frac{q * l^4}{E_{med} * I_y} \quad (6.27)$$

Procedimento do cálculo em que se considerará a situação mais desfavorável correspondente a uma viga com uma parede divisória alinhada com a viga:

1. Flechas máximas admissíveis:

- a) $u_{net,fin} = 7,43/250 = 0,02972 \text{ m} = 29,72\text{mm}$
- b) $u_{inst} = 7,43/300 = 0,02477 \text{ m} = 24,77\text{mm}$
- c) $u_{fin} = 7,43/150 = 0,049562 \text{ m} = 49,53\text{mm}$

2. Dados necessários para o cálculo:

- a) Conforme definido na seção 6.1.2 na página 61 a classe de serviço é a primeira (1).
- b) Tendo em consideração que se está perante a classe de serviço 1 e madeira maciça o coeficiente de fluência será $k_{def}=0,60$.
- c) De acordo com o definido na seção 6.2.1 na página 65 os valores para as cargas permanentes são os seguintes:
 - i. $PP_{Teto} \rightarrow G_1 = \left(\frac{1}{0,27}\right) * 0,08 = 0,3 \text{ kN/ml};$
 - ii. $PP_{viga} \rightarrow G_2 = 1,26 \text{ kN/ml};$
 - iii. $PP_{soalho} \rightarrow G_3 = 1,74 * 0,475 = 0,83 \text{ kN/ml};$
- d) De acordo com o definido na seção 6.2.2 na página 67 os valores para as sobrecargas são os seguintes:
 - i. $Sobrecarga \text{ do pavimento} \rightarrow Q_1 = 2,0 * 0,475 = 0,95 \text{ kN/ml};$
 - ii. $Sobrecarga \text{ das paredes divisórias} \rightarrow Q_2 = 1,35 * 3,75 = 5,0625 \text{ kN/ml};$
- e) De acordo com o definido na seção 6.2.4 na página 68 os valores para os coeficientes para:
 - i. o valor quase-permanente das ações variáveis são os seguintes:
 - A. $Sobrecarga \text{ do pavimento} \rightarrow \psi_{2,1} = 0,3$
 - B. $Sobrecarga \text{ das paredes divisórias} \rightarrow \psi_{2,2} = 0,3$
 - ii. o valor característico das ações variáveis são os seguintes:
 - A. $Sobrecarga \text{ do pavimento} \rightarrow \psi_{0,1} = 0,7$
 - B. $Sobrecarga \text{ das paredes divisórias} \rightarrow \psi_{0,2} = 0,7$
- f) O valor apresentado na seção 6.12 da página 77 para o módulo da elasticidade média foi:

$$E_{med} = 20 \text{ GPa}$$

6. Avaliação Estrutural

g) O valor calculado na seção 6.4.2 da página 77 para o momento de inércia da viga foi:

$$I = 7,6044 * 10^{-5} m^4$$

3. Cálculo das flechas instantâneas por ação:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad u_{inst,G_1} &= \frac{5}{384} * \frac{0,3 * 7,43^4}{20 * 10^6 * 7,6044 * 10^{-5}} = 0,00783 m = 7,83 mm \\ u_{inst,G_1} &= 7,83 mm \leq 24,77 mm \end{aligned}$$

Verifica.

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad u_{inst,G_2} &= \frac{5}{384} * \frac{1,26 * 7,43^4}{20 * 10^6 * 7,6044 * 10^{-5}} = 0,0328 m = 32,8 mm \\ u_{inst,G_2} &= 32,8 mm \leq 24,77 mm \end{aligned}$$

NÃO Verifica.

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad u_{inst,G_3} &= \frac{5}{384} * \frac{0,83 * 7,43^4}{20 * 10^6 * 7,6044 * 10^{-5}} = 0,02166 m = 21,66 mm \\ u_{inst,G_3} &= 21,66 mm \leq 24,77 mm \end{aligned}$$

Verifica.

$$\begin{aligned} \text{d)} \quad u_{inst,Q_1} &= \frac{5}{384} * \frac{0,95 * 7,43^4}{20 * 10^6 * 7,6044 * 10^{-5}} = 0,02479 m = 24,79 mm \\ u_{inst,Q_1} &= 24,79 mm \leq 24,77 mm \end{aligned}$$

Verifica.

$$\begin{aligned} \text{e)} \quad u_{inst,Q_2} &= \frac{5}{384} * \frac{5,0625 * 7,43^4}{20 * 10^6 * 7,6044 * 10^{-5}} = 0,13209 m = 132,09 mm \\ u_{inst,Q_2} &= 132,1 mm \leq 24,77 mm \end{aligned}$$

NÃO Verifica.

4. Cálculo das flechas finais por ação:

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad u_{fin,G_1} &= 7,83 * (1 + 0,60) = 12,53 mm \\ u_{fin,G_1} &= 12,53 mm \leq 49,53 mm \end{aligned}$$

Verifica.

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad u_{fin,G_2} &= 32,8 * (1 + 0,60) = 52,48 mm \\ u_{fin,G_2} &= 52,48 mm \leq 49,53 mm \end{aligned}$$

NÃO Verifica.

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad u_{fin,G_3} &= 21,66 * (1 + 0,60) = 34,66 mm \\ u_{fin,G_3} &= 34,66 mm \leq 49,53 mm \end{aligned}$$

Verifica.

$$\begin{aligned} \text{d)} \quad u_{fin,Q_1} &= 24,79 * (1 + 0,3 * 0,60) = 29,25 mm \\ u_{fin,Q_1} &= 29,25 mm \leq 49,53 mm \end{aligned}$$

Verifica.

e) $u_{fin,Q_2} = 132,09 * (0,7 + 0,3 * 0,60) = 116,24 \text{ mm}$

$$u_{fin,Q_2} = 116,24 \text{ mm} \leq 49,53 \text{ mm}$$

NÃO Verifica.

5. Finalmente a flecha final "liquida" será:

$$u_{net,fin} = 12,53 + 52,48 + 34,66 + 29,25 + 116,24 = 245,16 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = 245,16 \text{ mm} \leq 29,72 \text{ mm}$$

NÃO Verifica.

7. Conclusões

COMO proposto no primeiro capítulo do presente trabalho o objetivo era o de consolidar e desenvolver os conhecimentos adquiridos no mestrado de estruturas de engenharia civil utilizando para tal a avaliação da segurança de uma parte de um edifício com mais de um século de existência procedendo à avaliação parcial da estrutura existente tendo como base a legislação e regulamentação vigente e o prolongamento do período de vida útil do conjunto.

Após a apresentação de um pequeno historial da reabilitação urbana e dos modelos construtivos da era pré Moderna (Tradicional) verificou-se através da realização do histórico do edifício que o mesmo foi sujeito a transformações substanciais ao longo do seu período de vida, quer ao nível das funções quer na arquitetura, que nos capítulos subsequentes se confirmou necessitarem de ser revistos.

Na inspeção visual da estrutura do edifício e dos elementos arquitetónicos que compõe o edifício identificou-se várias patologias e anomalias que obrigam à realização de uma série de inspeções e ensaios. Do conjunto de inspeções e ensaios necessários foram selecionados alguns que permitissem fazer a avaliação estrutural do elemento estrutural selecionada, uma área do pavimento do primeiro andar. Nesta fase constatou-se que o edifício apresentava algumas anomalias com origem biótica, pluvial, da própria rede de abastecimento de águas, falta de manutenção ou fluência dos materiais aplicados, necessitando de uma análise mais detalhada.

Para se avaliar estruturalmente foi necessário realizar alguns ensaios aos materiais aplicados. Começou-se por fazer uma apresentação dos ensaios não destrutivos ao dispor dos projetistas para identificarem as espécies e caracterizarem mecanicamente e fisicamente os materiais. Com os ensaios realizados foi definido a espécie utilizada na estrutura do pavimento a Riga, e no acabamento final do pavimento o Pinho, mas enquanto no caso do pinho foi possível definir uma possível classe de resistência na riga tal não foi possível. Com estes resultados deduz-se que é fundamental realizar mais ensaios, tendo-se chegado à mesma conclusão com os cálculos estruturais. Como ponto de partida optou-se pela segurança na definição dos parâmetros obtidos nos ensaios realizados.

Aproveitando a necessidade de se construir um modelo numérico com recurso ao software da Autodesk denominado Robot Structural Analysis Professional 2014, fez-se um análise comparativa entre um pavimento com tarugos e outro sem, concluindo-se que os tarugos distribuem os esforços pelos diversos elementos da estrutura aumentando a capacidade resistente do conjunto com valores que podem atingir os 10%.

Com a realização da avaliação dimensional chegou-se à conclusão que as classes de resistência definidas pelo lado da segurança não verificam as necessidades dimensionais impostas pelo modelo estrutural e pela regulamentação do estado limite último, não esquecendo que se analisou a situação mais desfavorável. A situação é mais grave quando se avalia a segurança relativamente ao estado limite da deformação.

7. Conclusões

Após uma consulta de alguns fornecedores e das respectivas fichas técnicas constata-se que a segurança considerada na definição dos parâmetros foi demasiado elevada. Portanto é fundamental realizar todos os ensaios disponíveis para definir as características corretas dos materiais e eventualmente definir reforços da estrutura.

Referências Bibliográficas

- ARRIAGA, F. et al. – *Intervención en estructuras de madera*. Madrid: AITIM, 2002. ISBN 84–87381–24–3
- BURJ KHALIFA – *Burj Khalifa*. 2010 (URL: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Burj_Khalifa.jpg#/media/File:Burj_Khalifa.jpg)
- CARTA DE LISBOA – *Carta de reabilitação urbana integrada*. Anais do I Encontro Luso-Brasileiro de Reabilitação Urbana. Lisboa 1995
- COSTA, Alexandre – *Apontamentos da disciplina de Estruturas de Madeira - Parte I*. 2013
- CÓIAS, Vítor – *Inspeções e ensaios: na reabilitação de edifícios*. Lisboa: Editora IST PRESS, 2006. ISBN 978–972–8469–53–5
- DIEZ, R.; HERMOSO, E.; FERNANDEZ-GOLFIN, J. – *Evaluación de la clasificación resistente de la madera estructural mediante ultrasonidos*. Cartagena, June 2003
- EUROCÓDIGO 0 – *Eurocódigo 0*. 2009
- EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-2 – *Eurocódigo 1, parte 1-2*. March 2010
- EUROCÓDIGO 5 – *Eurocódigo 5*. November 2004
- EUROCÓDIGO 1, PARTE 1-1 – *Eurocódigo 1, parte 1-1*. 2009
- FALCÃO, Mário – *O Porto, os planos municipais e o turismo*. Revista da Faculdade de Letras, Geografia, I série, XV e XVI 2000, pp. da 63 à 78
- FARINHA; REIS – *Tabelas Técnicas*. 1993
- FEIO, Artur; LOURENÇO, Paulo B. – *Possibilidades e aplicações de ensaios não destrutivos*. 2005
- GENERAL ELETRIC – *Manual Instrução Protimeter MMS*. 2006
- *VIDEOSCÓPIO XL Go*. 2015
- JÚNIOR, Jerónimo – *AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVA DA CAPACIDADE RESISTENTE DE ESTRUTURAS DE MADEIRA DE EDIFÍCIOS ANTIGOS*. Ph. D thesis, FEUP, Porto, 2006
- LOPES, Duarte – *Reabilitação de Estruturas de Madeira*. 2012
- LOPES, Duarte Barroso; MILITZ, Holger; MAI, Carsten – *Pilodyn Testing of Thermally and Chemically Modified Wood*. Riga, Latvia, 2010. ISBN 978–9984–49–135–6

Referências Bibliográficas

LOPES, Mário – *Edifícios e Quarteirões Pombalinos: Modelação, Análisis Sismica e Estratégias de Reforço*. Ordem dos Engenheiros, 2009 (URL: <http://slideplayer.com.br/slide/1606063/#>)

MACHADO, José – *Avaliação da variação das propriedades mecânicas de pinho bravo (pinus pinaster ait.) por meio de ultra-sons*. LNEC edition. Lisboa, 2003. ISBN 972-49-1941-2

MADEICENTRO – *Ficha técnica do Pinho Bravo*. 2015

MOREIRA, MARINA FERNANDA JESUS – *REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM EDIFÍCIOS ANTIGOS*. Tese de Mestrado FEUP, 2009

NCREP E INÊS GUEDES PHOTOGRAPHY – *Resistógrafo*. 2015 (URL: http://www.ncrep.pt/static/7088_IMG_2273_.JPG)

PCE IBÉRICA – *Boroscópios PCE-VE 500*. 2015

PORTO VIVO – *DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE REABILITAÇÃO URBANA DO CENTRO HISTÓRICO DO PORTO EM INSTRUMENTO PRÓPRIO*. 2012

PROCEQ – *Proceq Tico Ultrasonic Instrument*. 2015

QUEBARATO – *Estação Total Tc605*. 2015

RESIN PROGET – *Resistógrafo*. 2015 (URL: <http://www.resinproget.it/contatti.html>)

SCANMETAL – *Réguas de nível*. 2015 (URL: http://www.scanmetal.com.br/produtos/precisao/10.regua_prumo_nivel/01.jpg)

TERRAGES – *Pilodyn 67*. 2015 (URL: <http://www.youtube.com/terrages>)

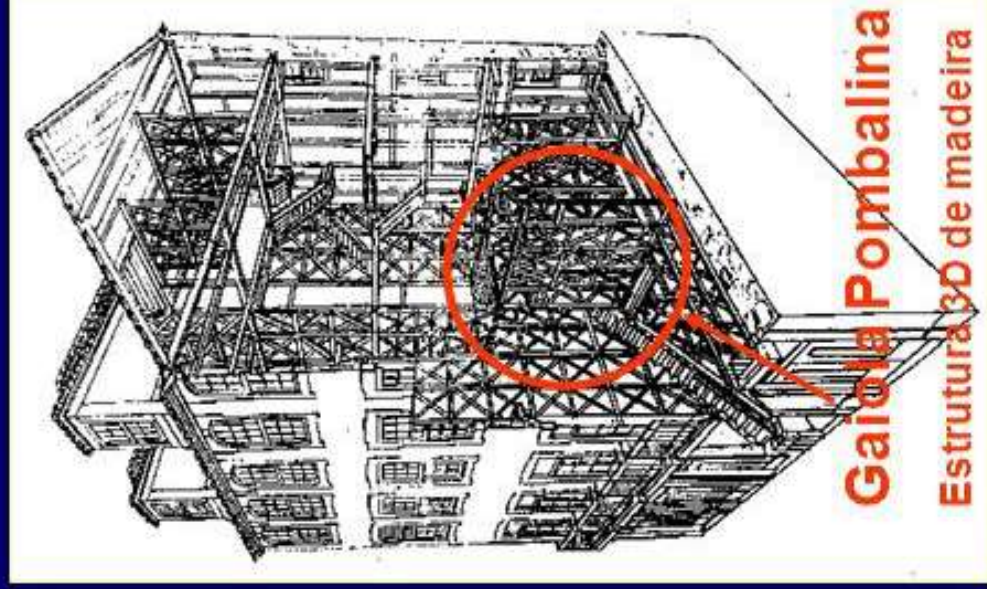
A. Anexos

A.1. Reabilitação Urbana



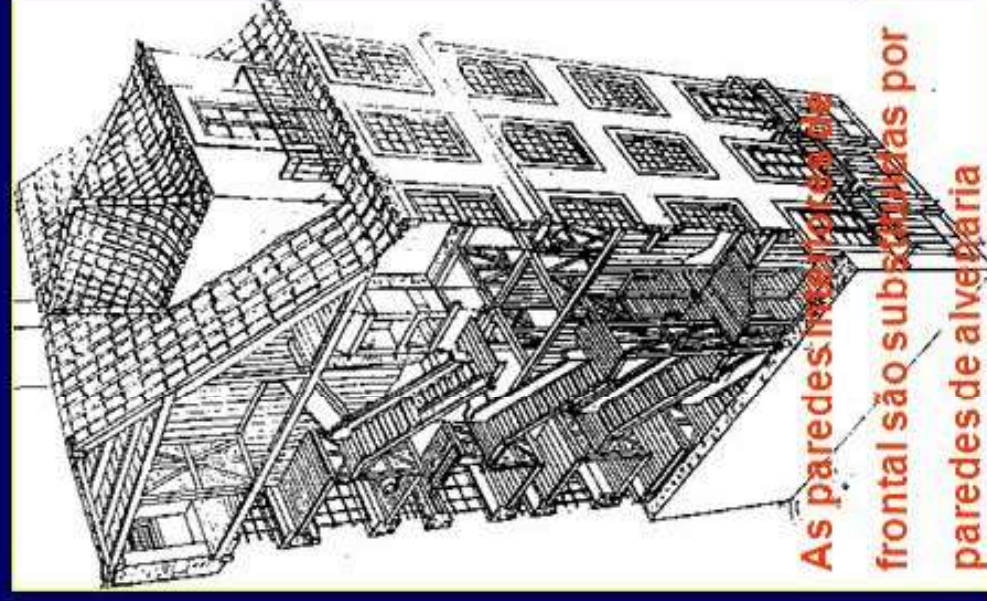
Edifícios Pombalinos

(1755 a 1880)



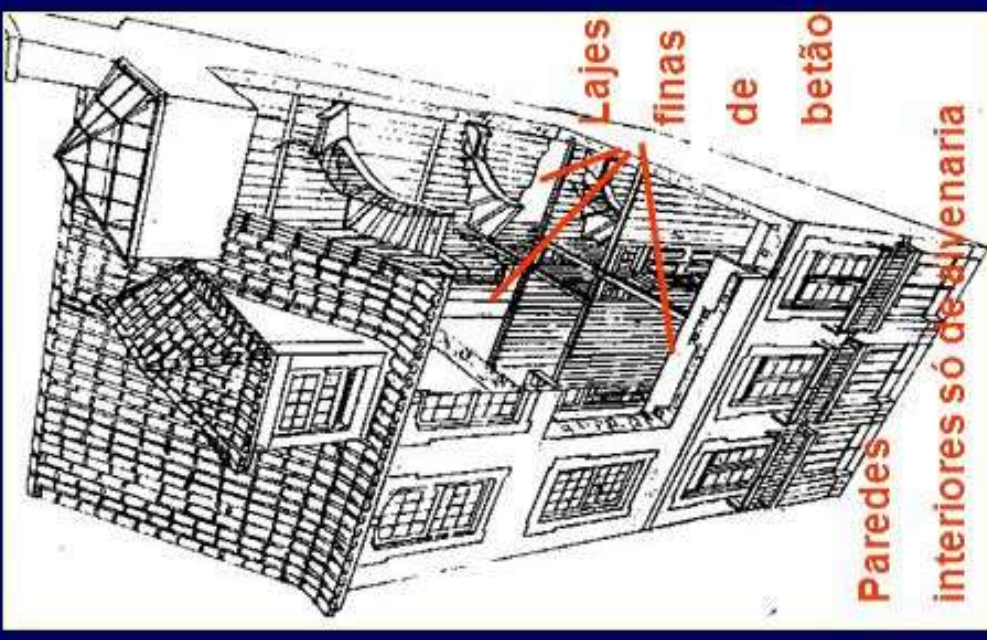
Edifícios Gaioleiros

(1880 a 1940)



Edifícios de 'Placa'

(1940 a 1960)

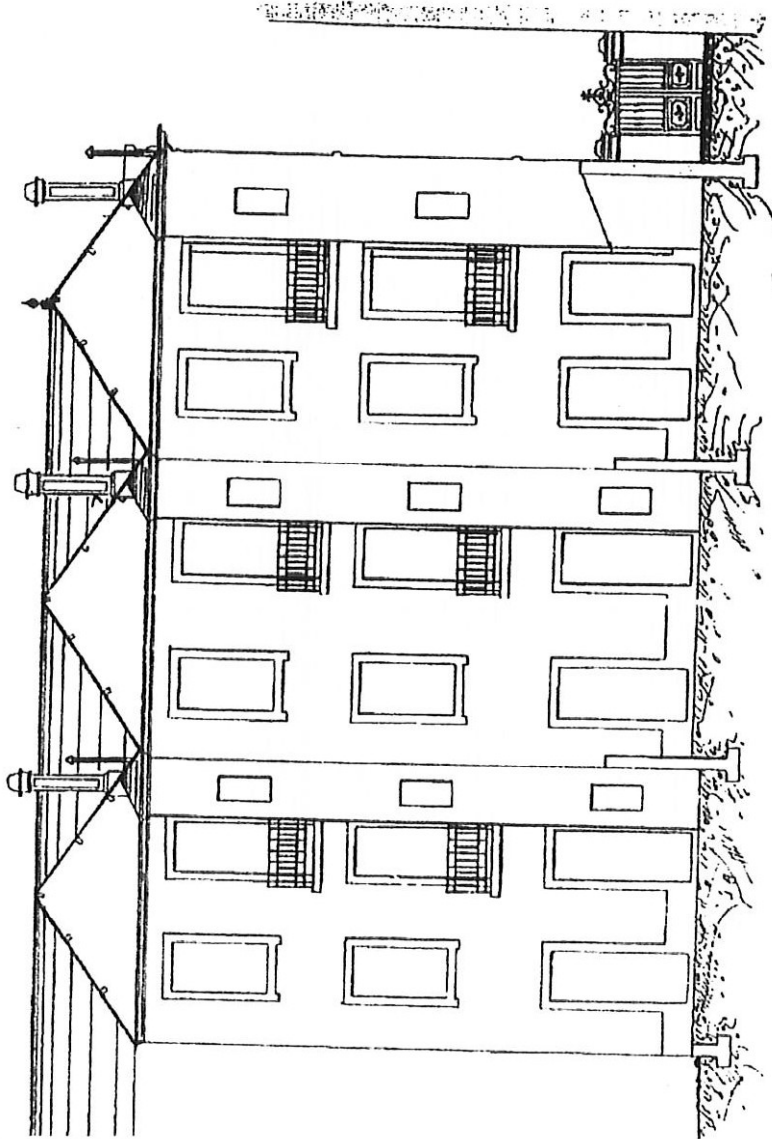
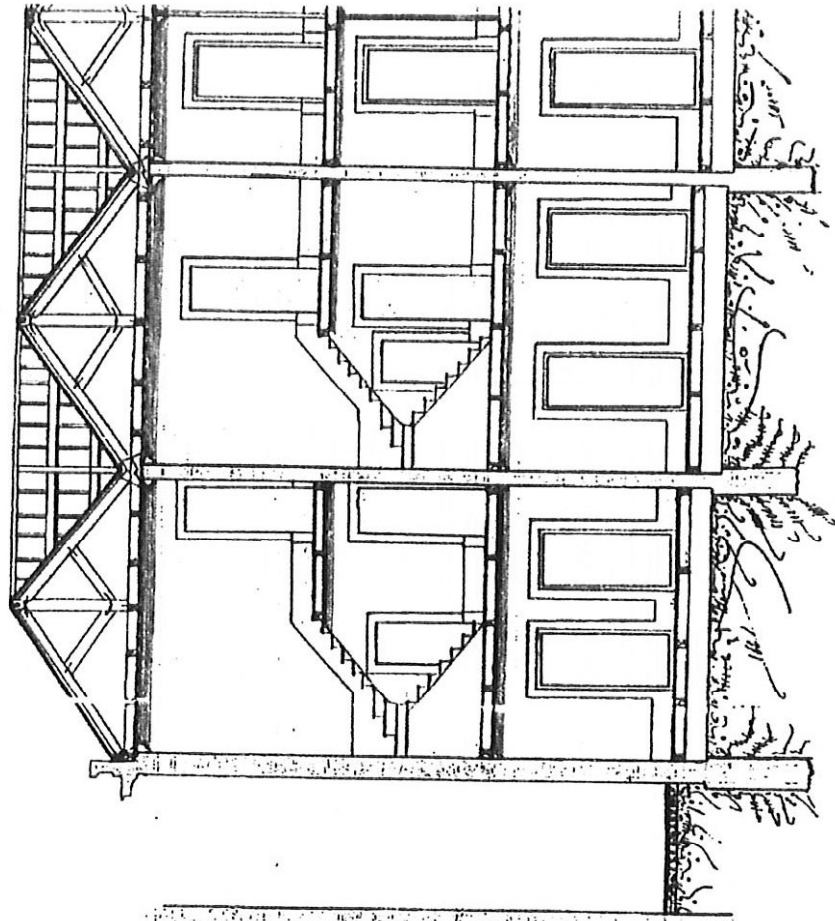


Alteração de rigidez, resistência e ductilidade

A. Anexos

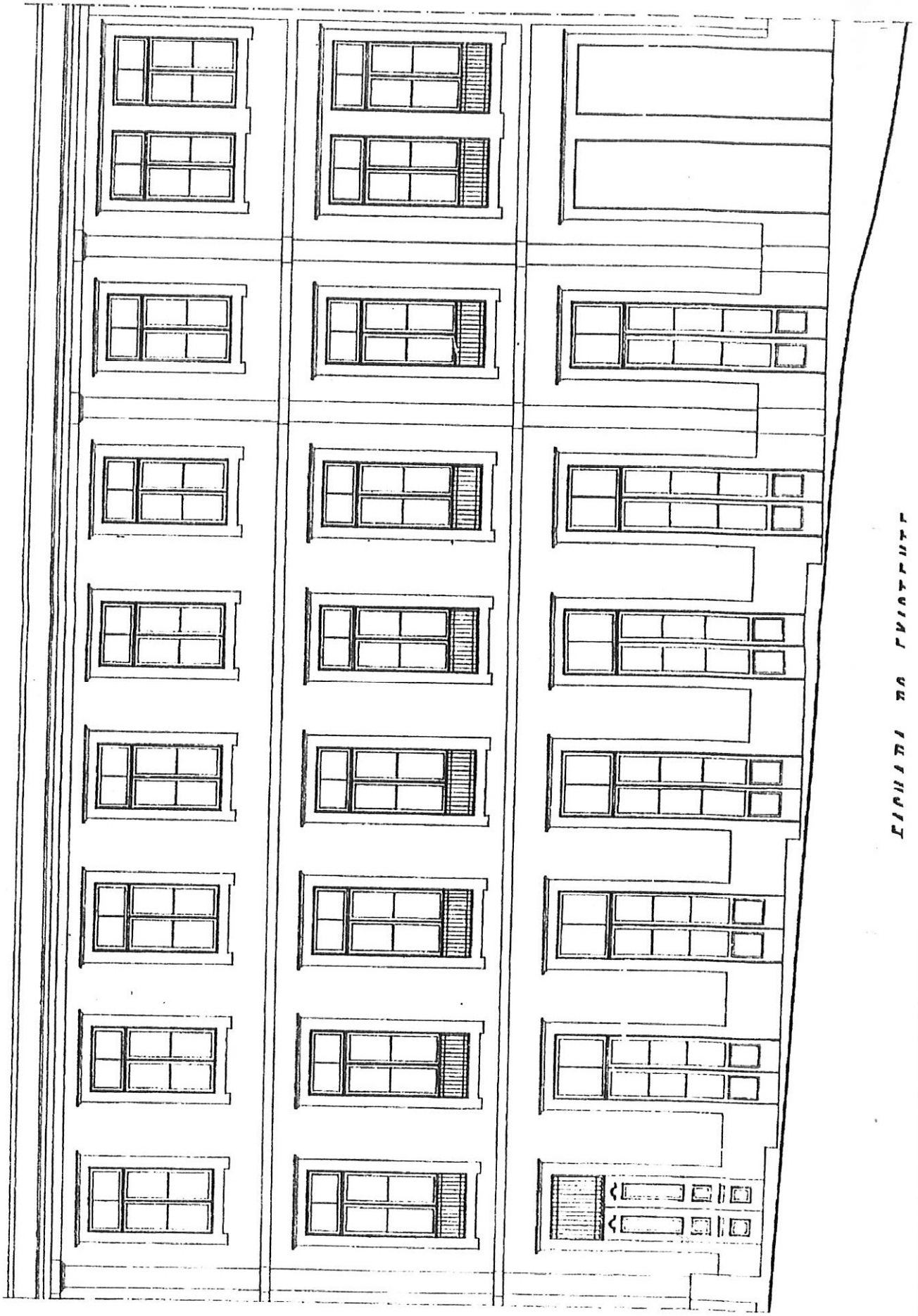
A.2. Plantas de Arquitetura Início da Construção

Cint



lado posterior

PROVENCIO DE ALIENACIONES A QUE SE HETENE O HEQUEVIMIENTU JA EX. JNR. D. DOROTEA AMELIA DA S



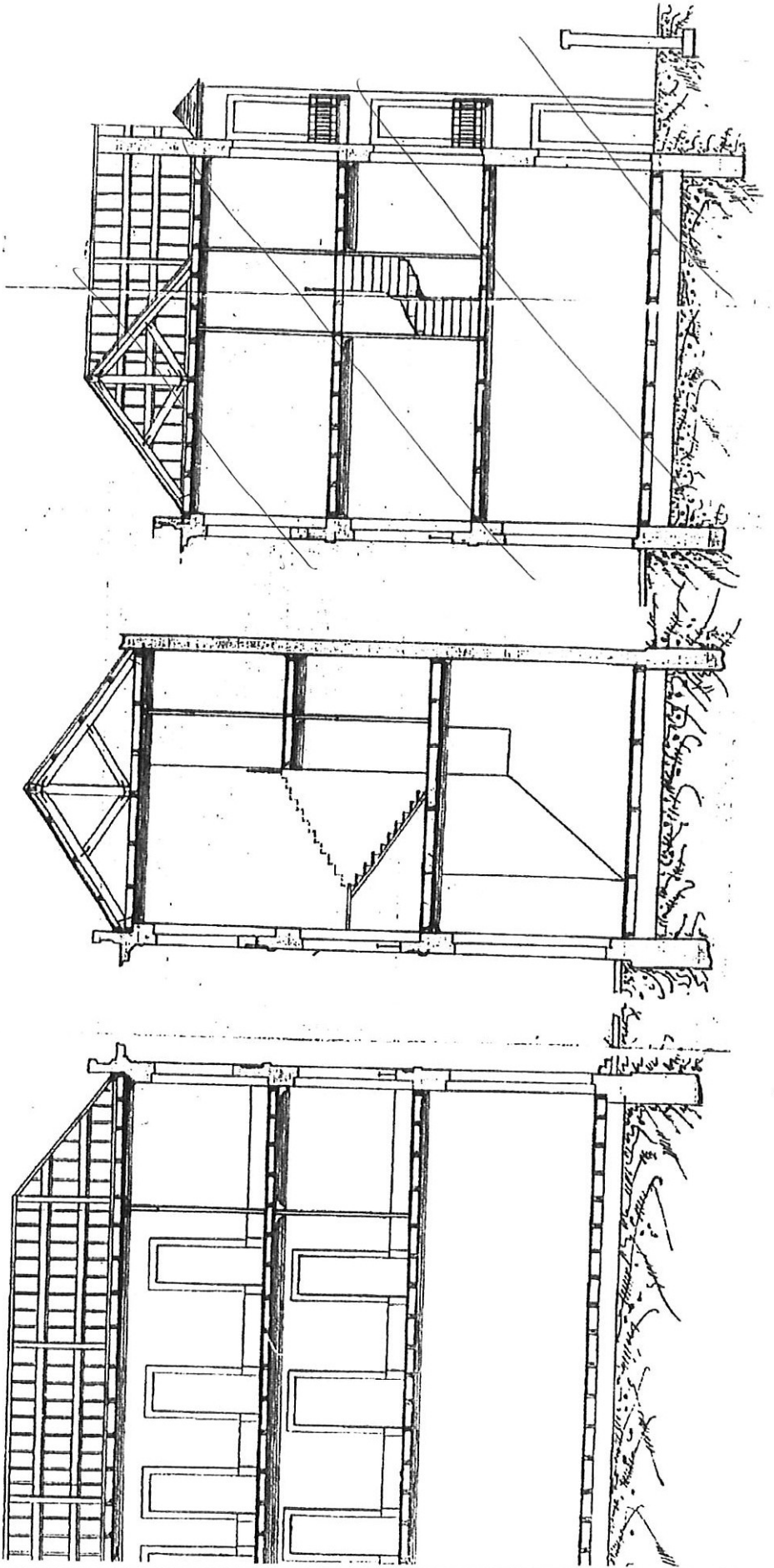
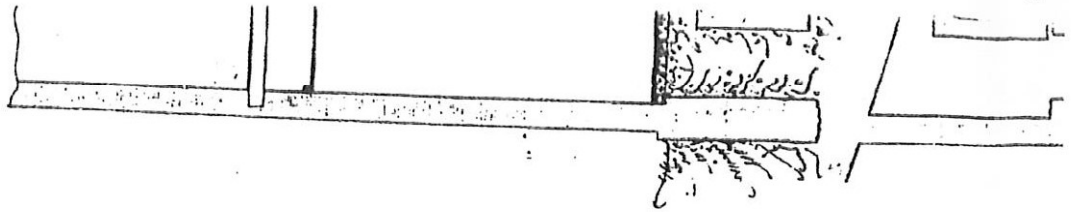
PLANU DE PLANU DE PLANU

173
Tipo - de

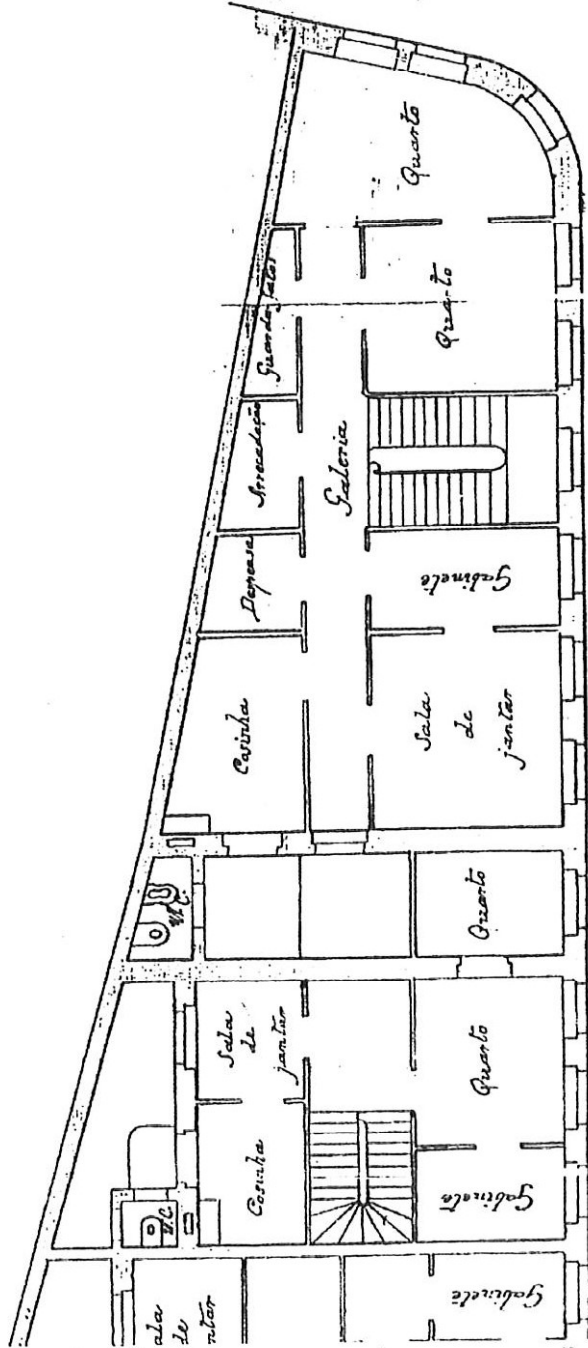
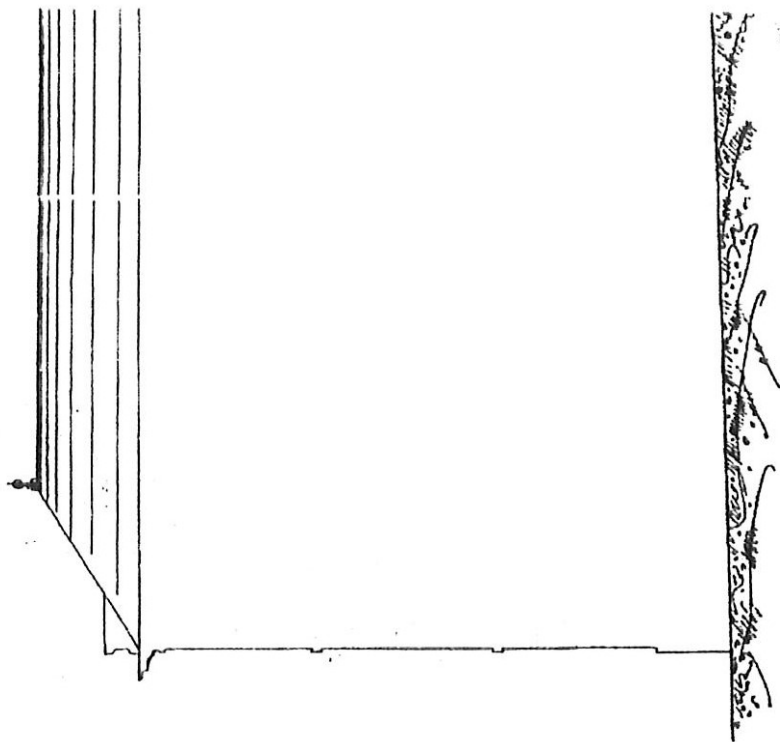


Corte transversal por E. F.

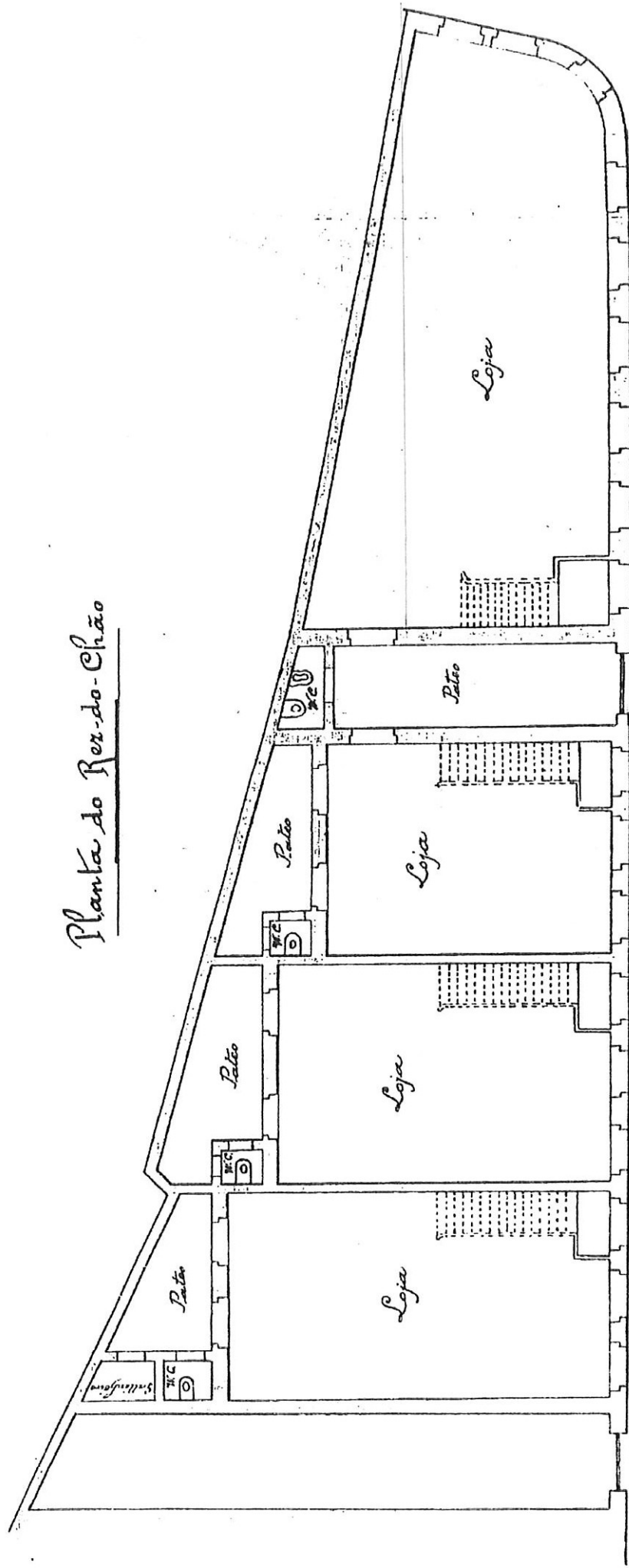
Corte transversal por C. D.



P. planta do 2.º Andar



Planta do Rez-do-Chão



Escala 1:100

A. Anexos

A.3. Plantas de Arquitetura Alteração da loja (1949)

R. I. DURUIZIA AMELIA DA SILVA LAMAREL

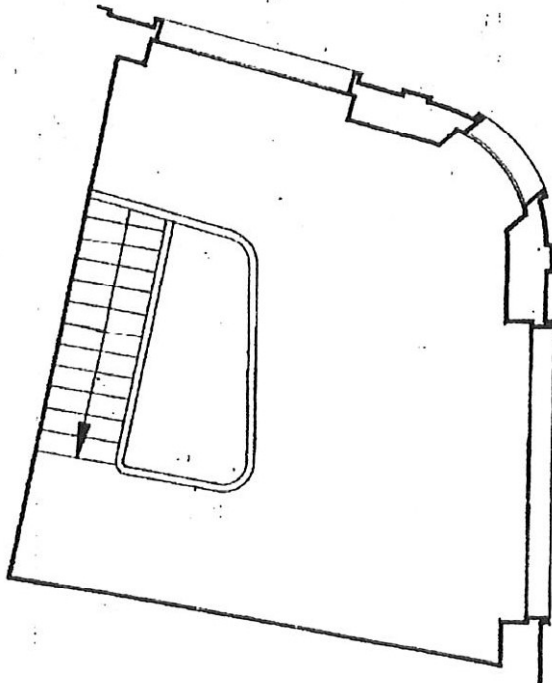
APROVADO

Porto de LA AR. 1910
11 de Novembro de 1910

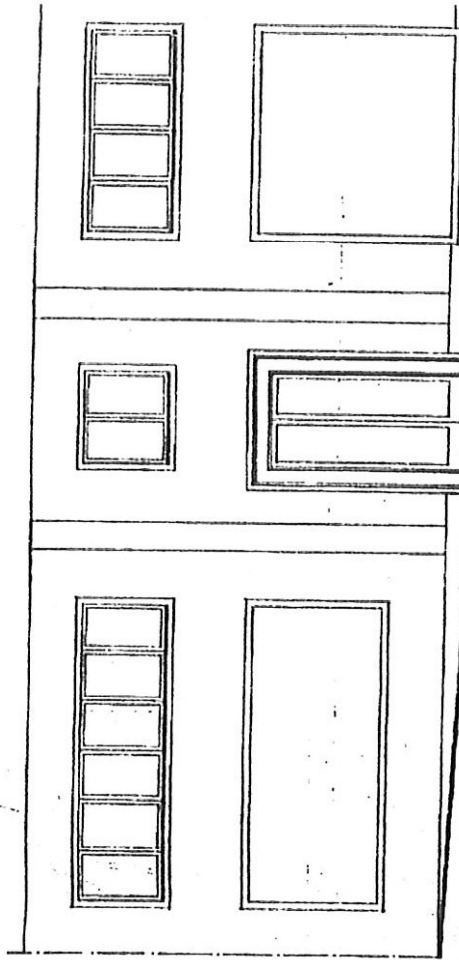
CANÇELARIA DE ESTRELA URSINA

CIDADE DO PORTO
12 de Novembro de 1910

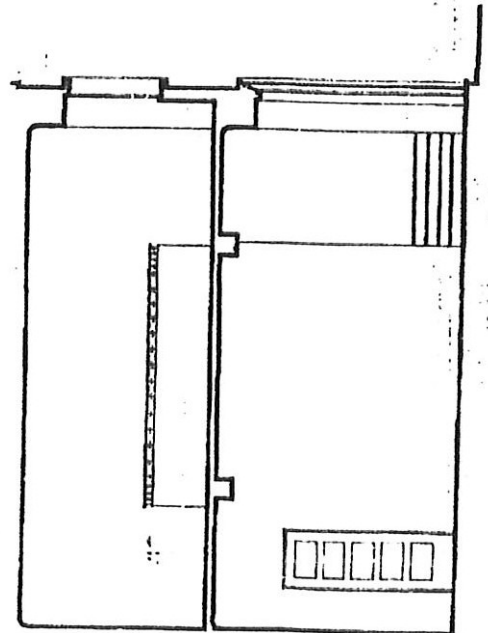
Satisfaz



SOBRE LOJA

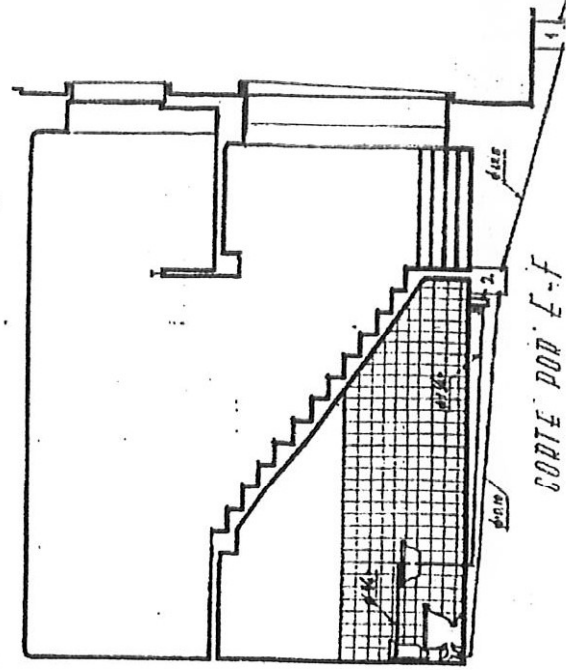


ALÇADO

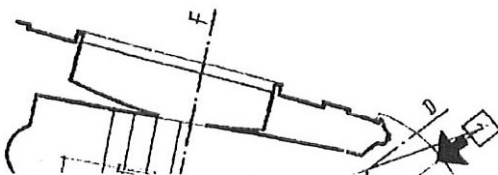


CORTE POR C-D

- LEGENDA
- 1-CAIXA INTERCEPTORA
 - 2-CAIXA DE VISITA
 - 3-SIFÃO DE PATEO

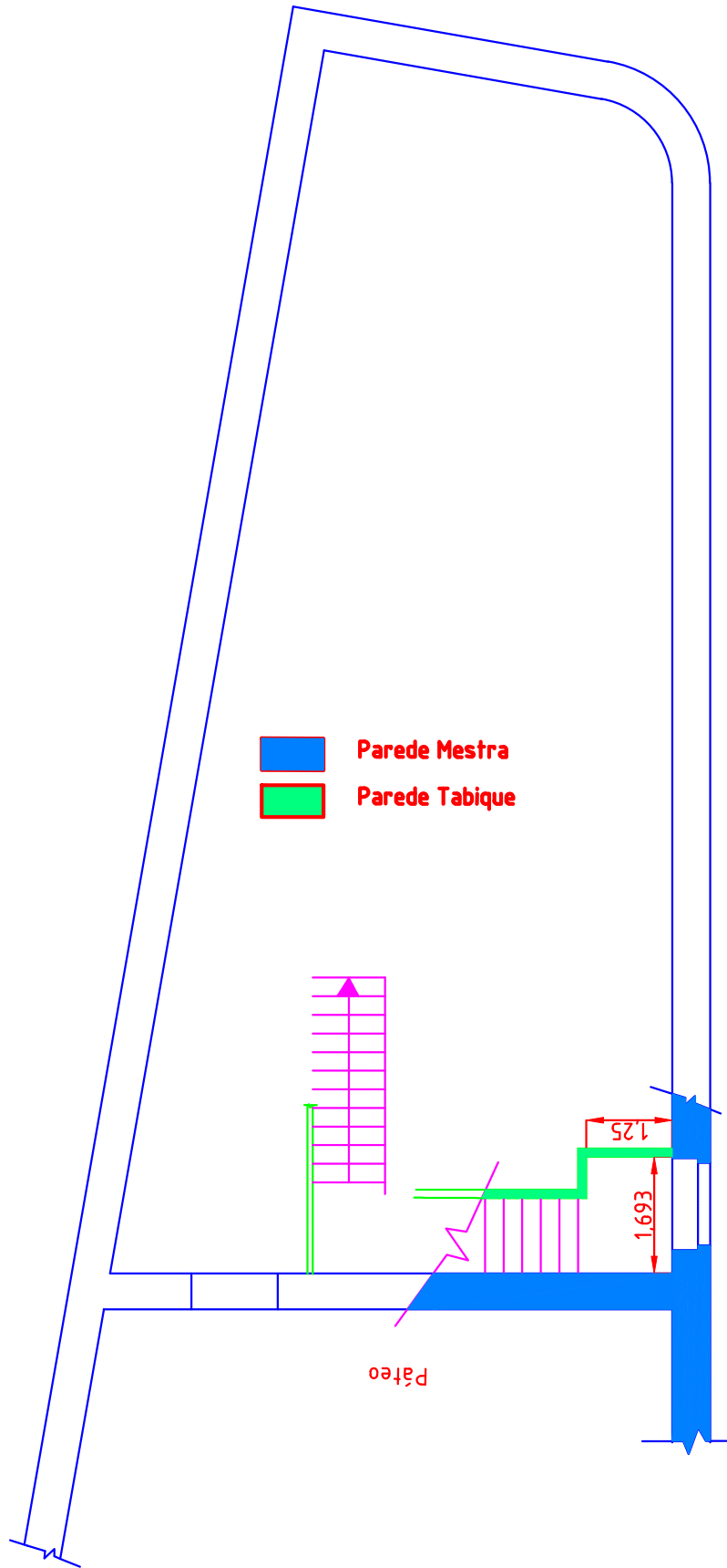


CORTE POR E-F



A. Anexos

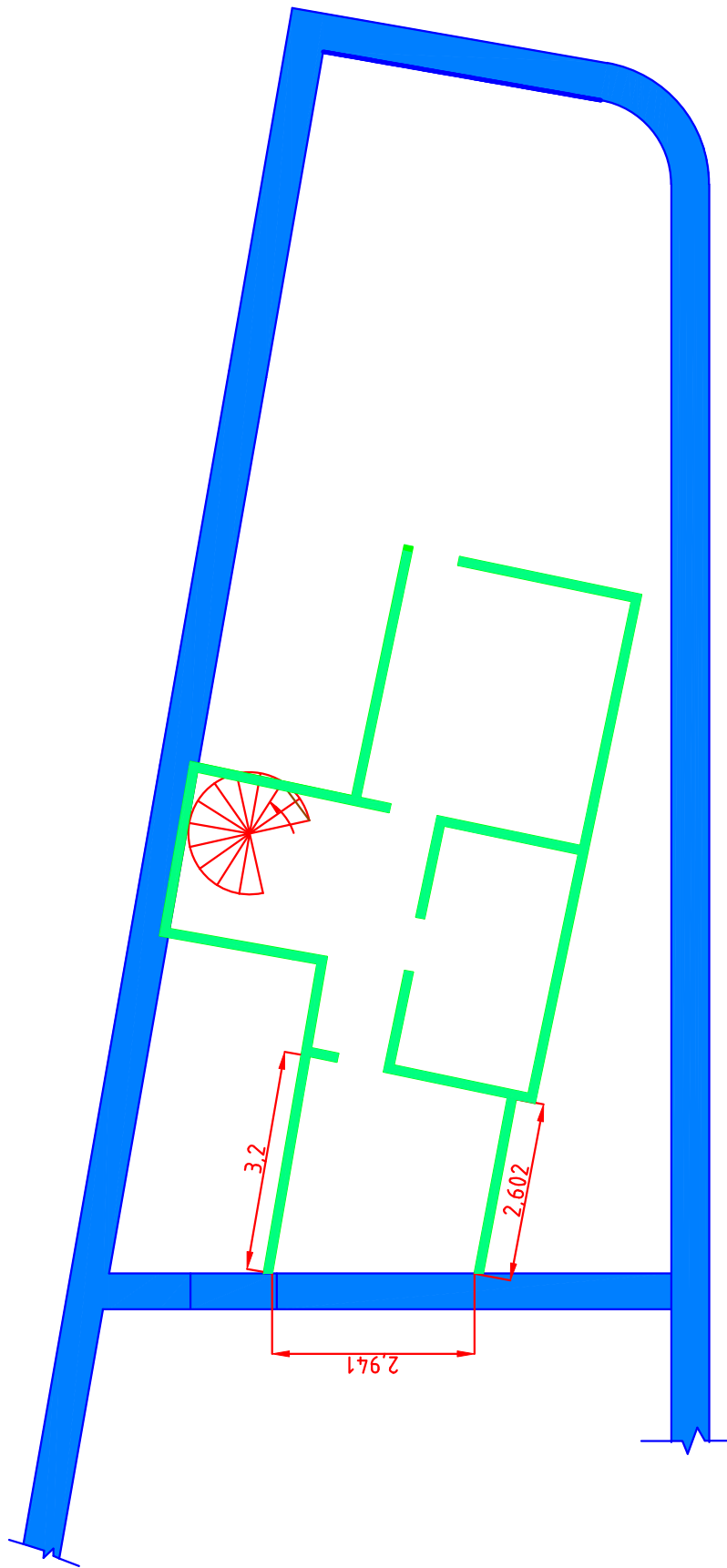
A.4. Plantas de Arquitetura Levantamento do Existente



- Parede Mestra
- Parede Tabique

Pátio

Planta Arquitetura R/c
Escala 1:100

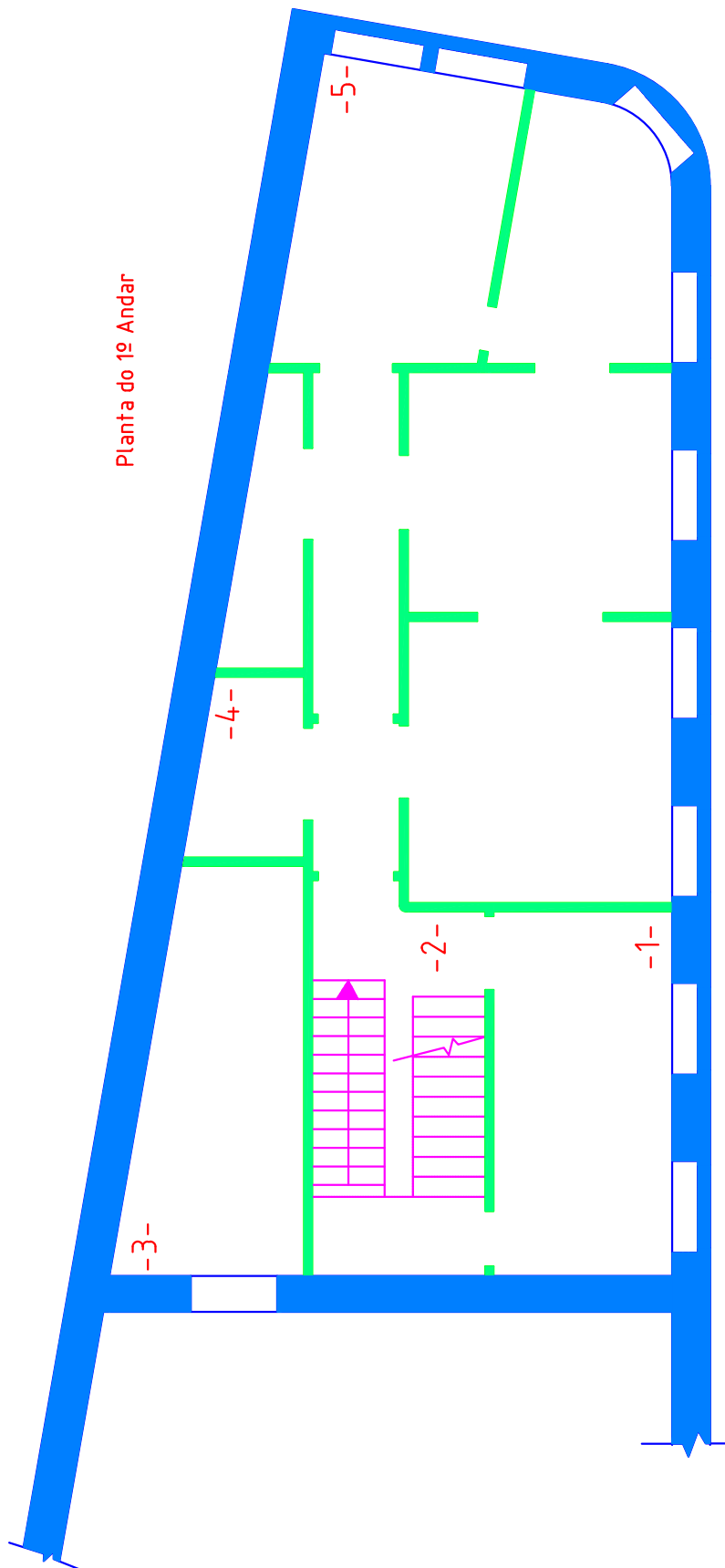


Planta Arquitetura do Desvão da
Cobertura

Escala
1:100

A.5. Plantas de Localização Anomalias

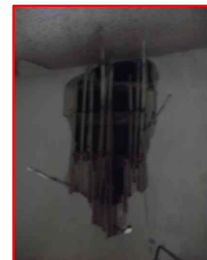
Planta do 1º Andar



-3- Infiltração águas Pluviais



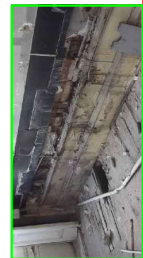
-5- Infiltração Águas Pluviais



-4- Infiltração Águas Pluviais



-2- Desgaste Soalho

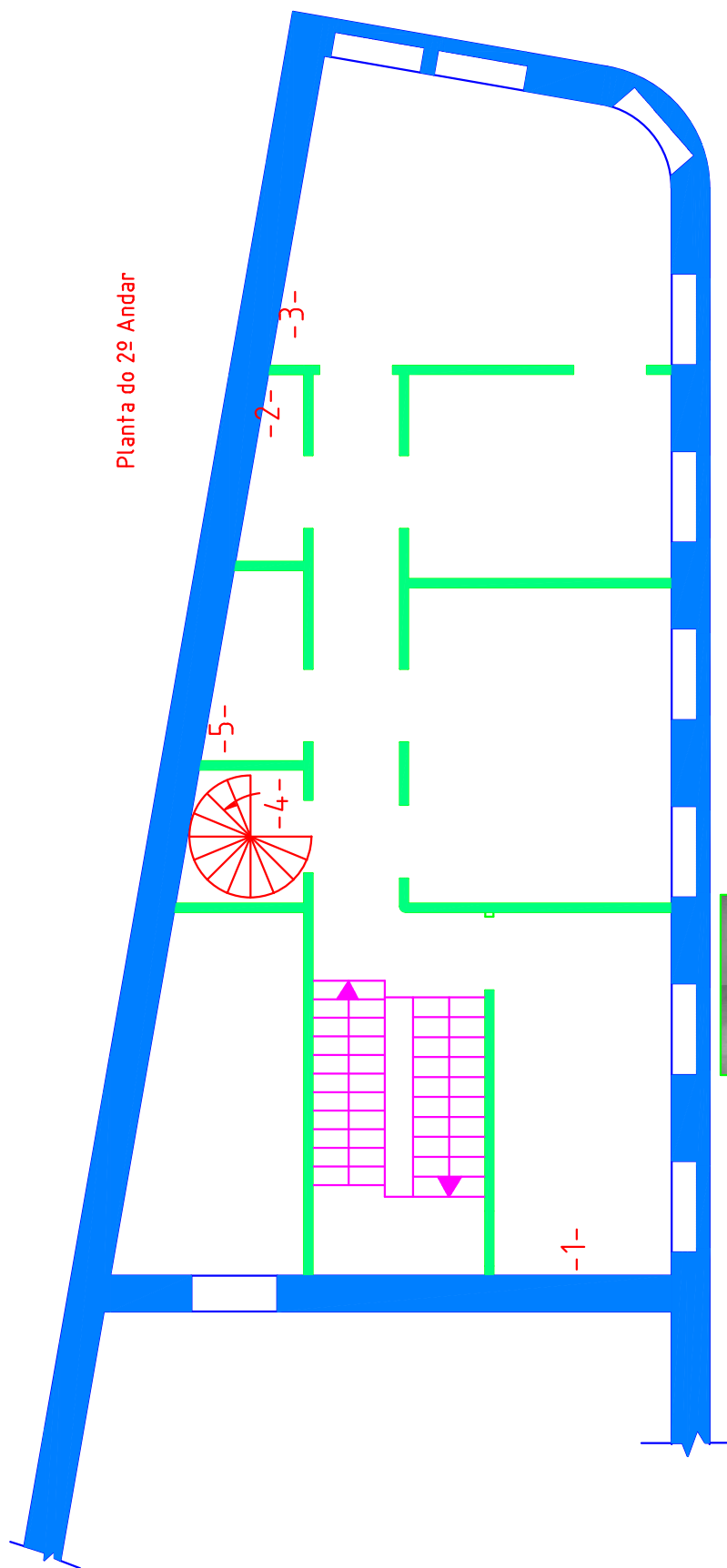


-1- Afão da água da rede

Planta Localização das Anomalias no 1º Andar

Escala 1:100

Planta do 2º Andar



-1- Fenda na ligação Parede Teto



-2- Fenda na Parede



-3- Fissuração Parede / Teto



-4- Soalho Degradado

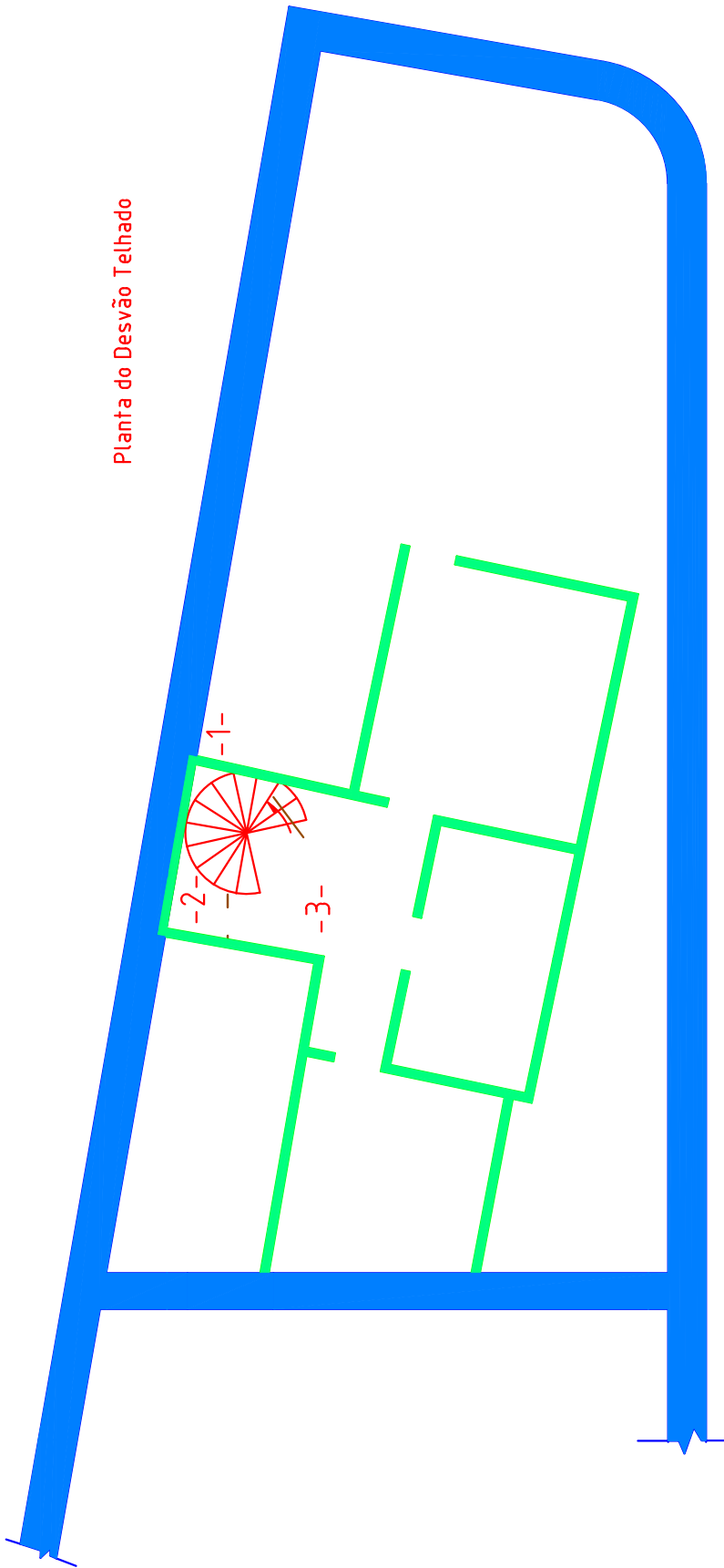


-5- Infiltração Água Teto

Planta Localização das Anomalias no 2º Andar

Escala 1:100

Planta do Desvão Telhado



-3- Soalho Muito Degradado



-2- Ação Agentes Bióticos

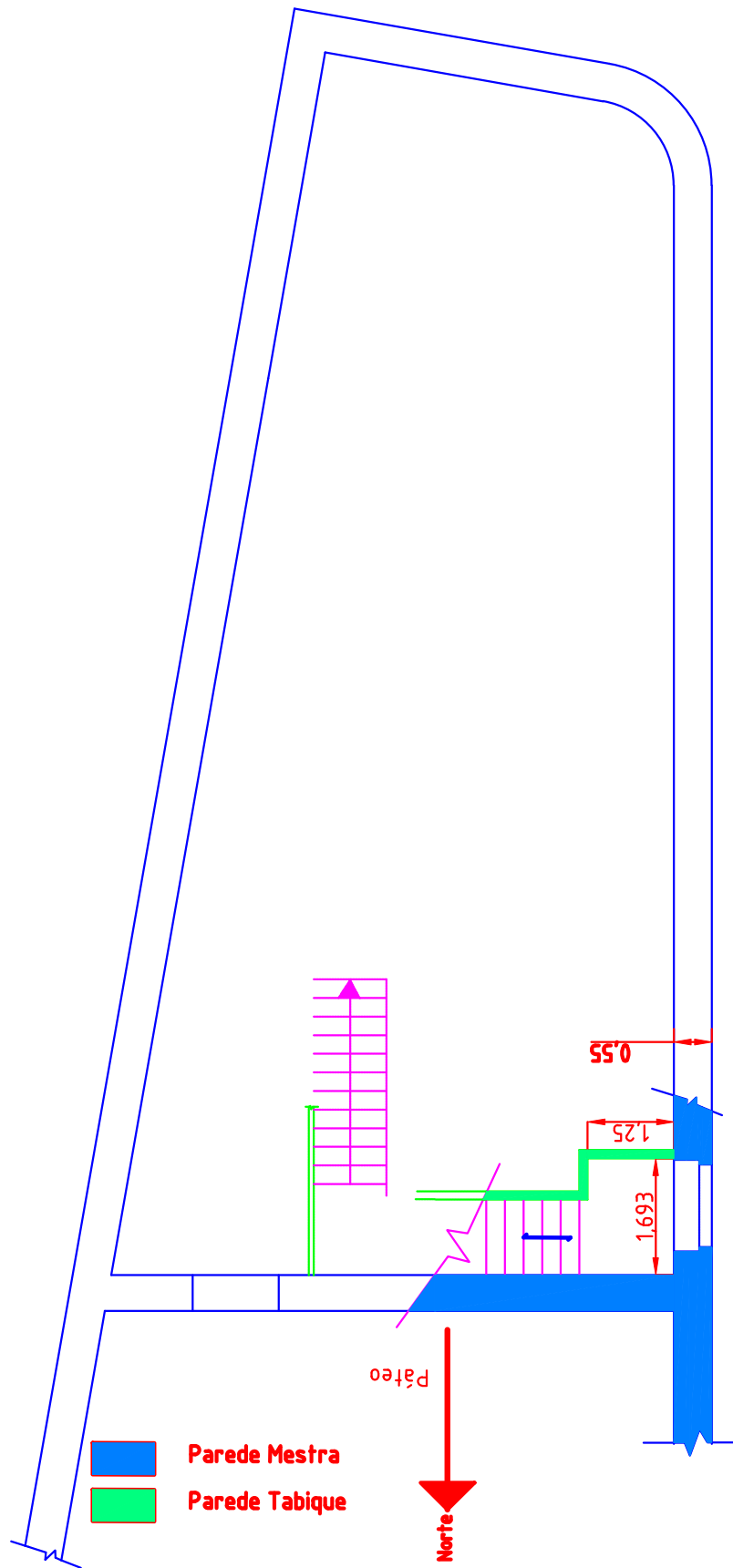


-1- Degraus Muito Degradados

Planta de Localização das Anomalias do Sótão

Escala
1:100

A.6. Plantas da Estrutura Deduzida

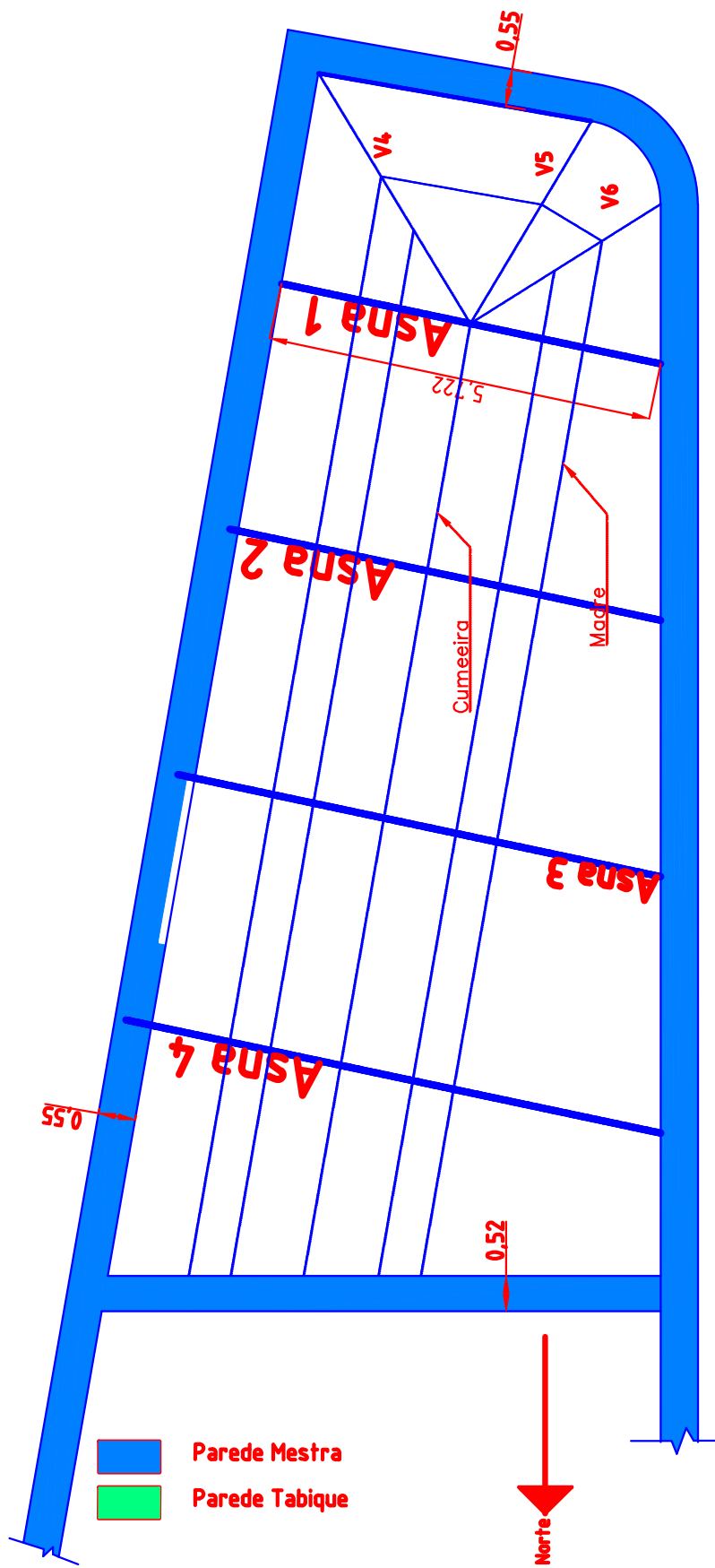


Parede Mestra
 Parede Tabique

Pátio
 Norte

Planta Estrutura Deduzida
R/c

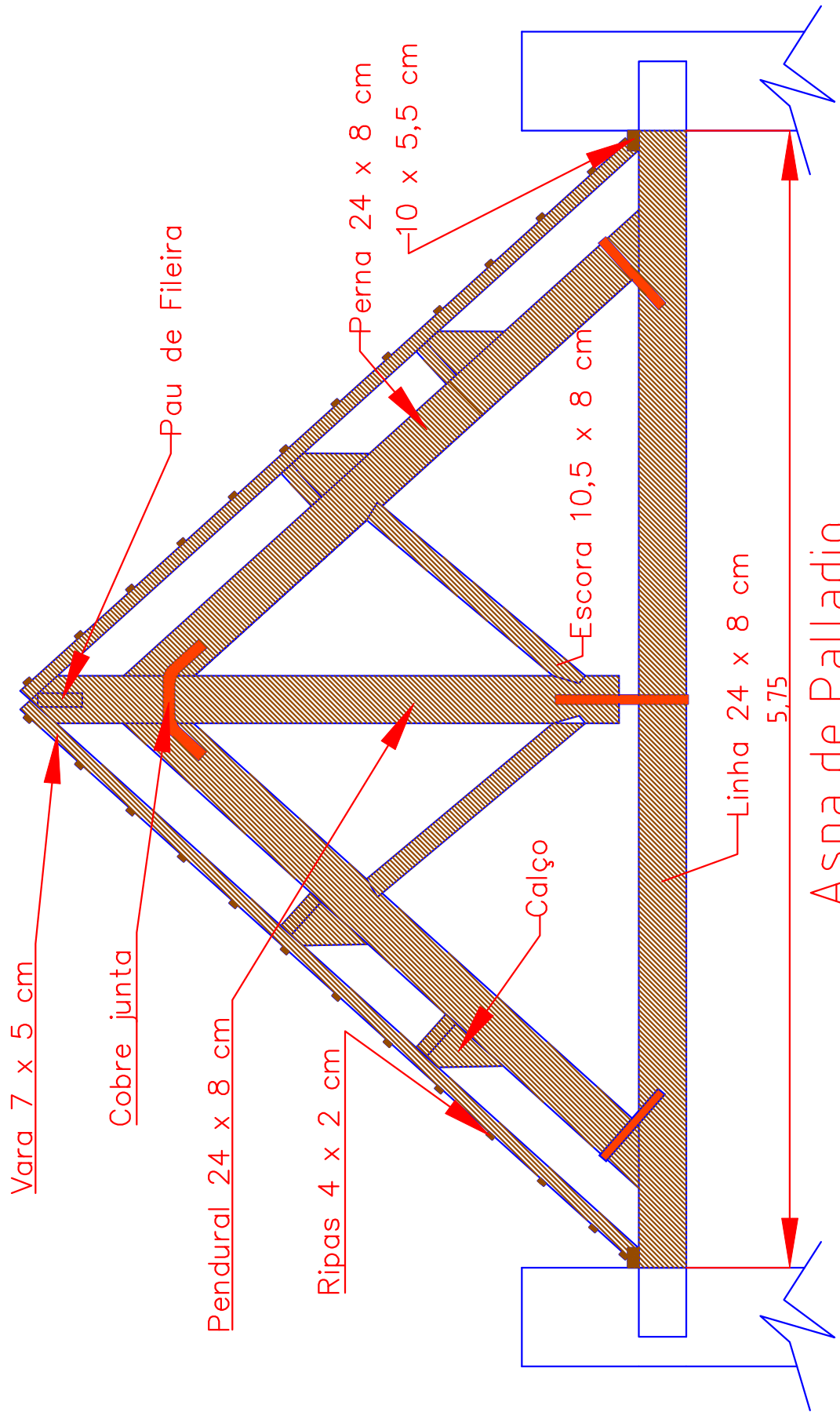
Escala
1:100



Planta Estrutura Deduzida
Telhado

Escala
1:100

A.7. Pormenores Estruturais

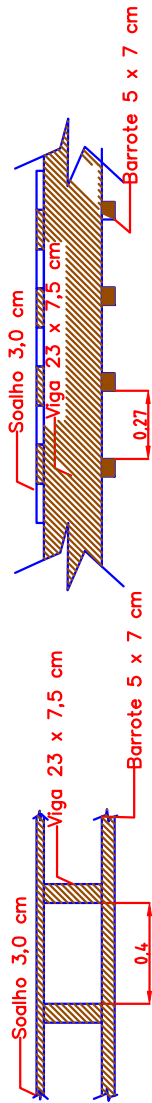


Asna de Palladio

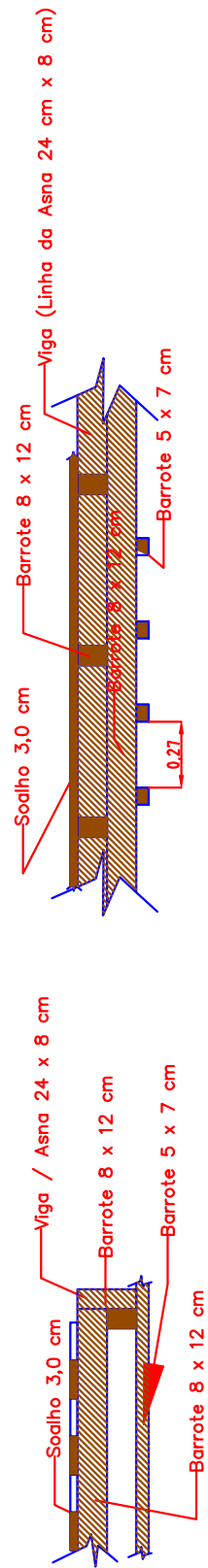
Poromenor da Asna da Estrutura do Telhado

Escala
1:30

Pormenorização Pavimento e Teto Piso 1 e 2



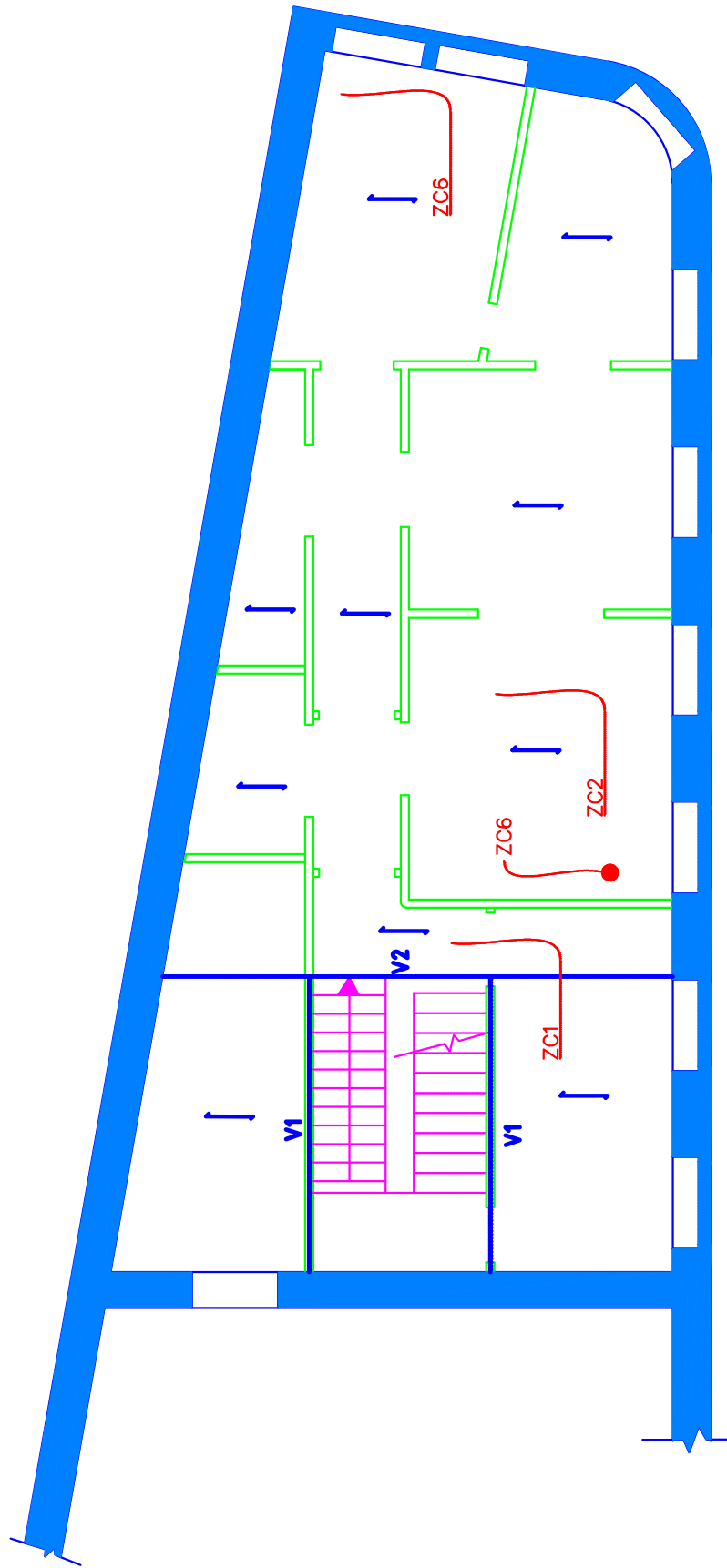
Pormenorização Pavimento e Teto Sótão



Pormenores da Estrutura do Pavimento

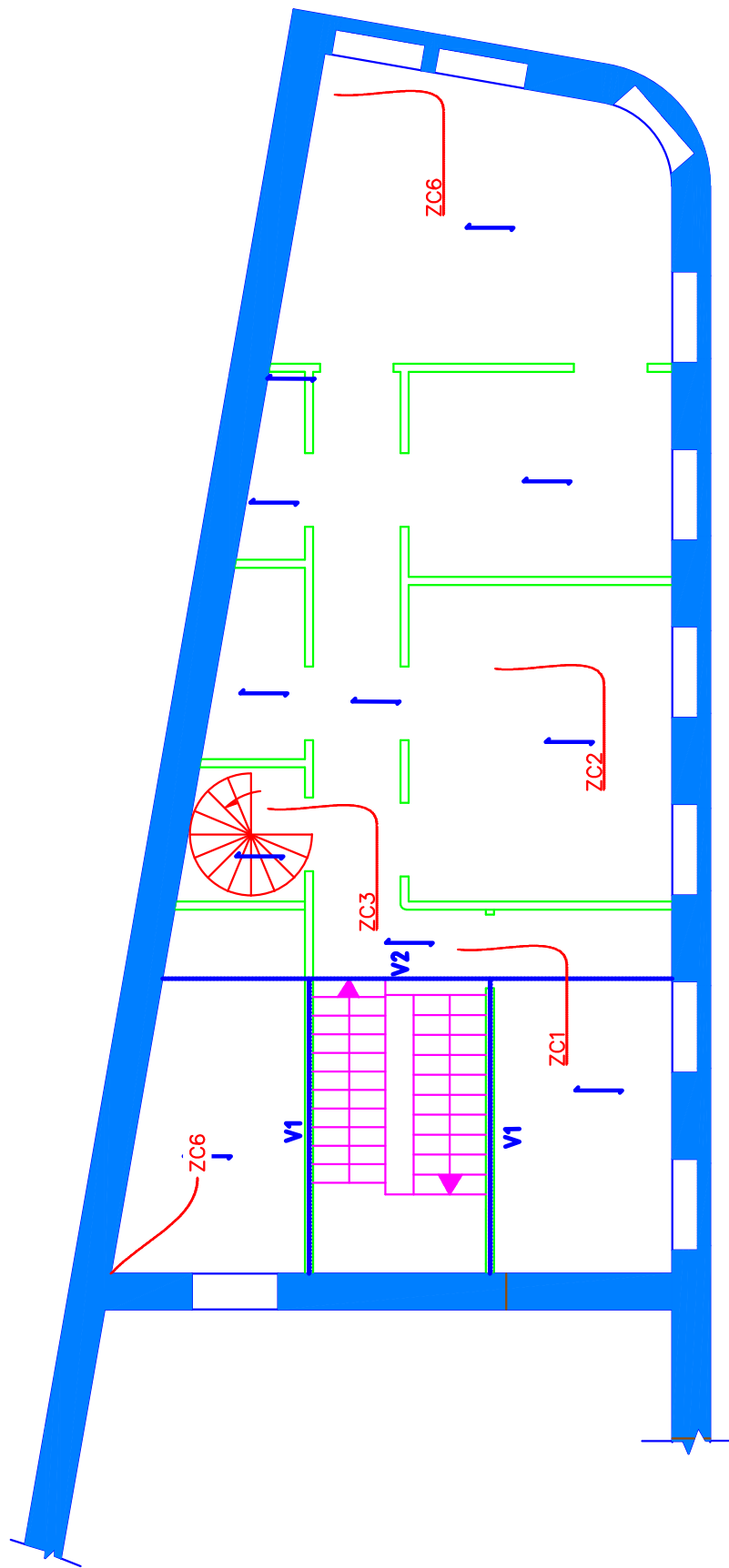
Escala
1:30

A.8. Plantas de Inspeções e Ensaaios



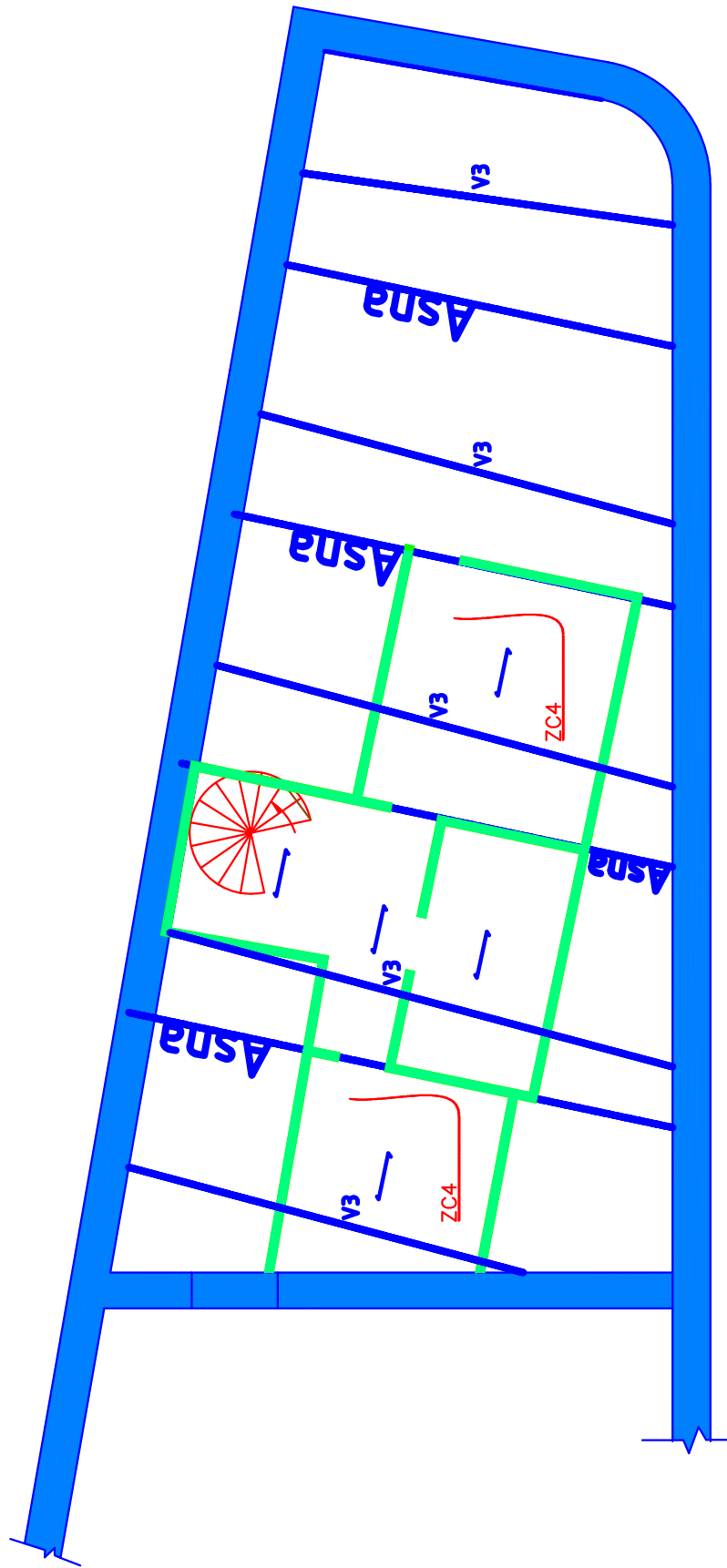
Planta Localização de Inspeções
e Ensaios no 1º Andar

Escala
1:100



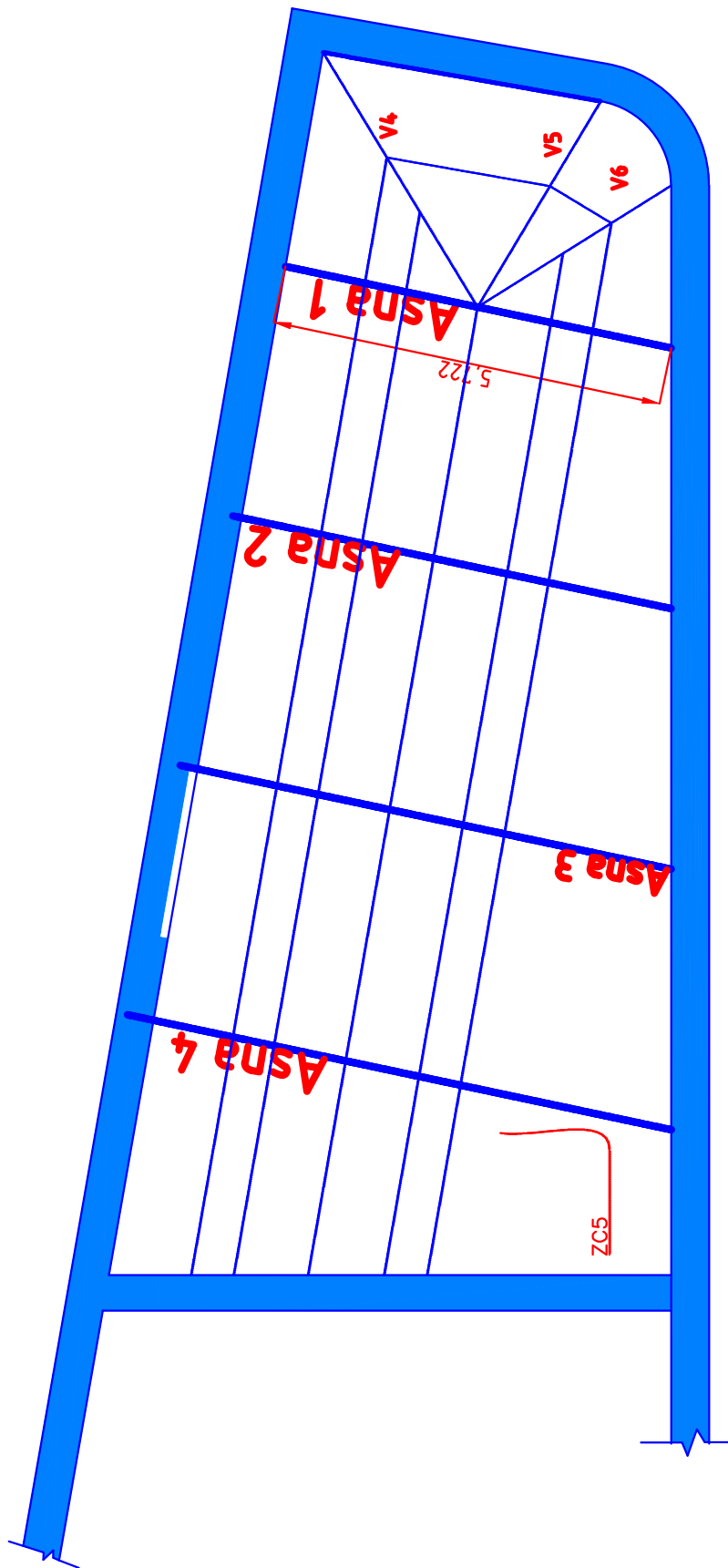
Planta Localização de Inspeções
e Ensaios no 2º Andar

Escala
1:100



Planta Localização de Inspeções e Ensaio no Desv. da Cobertura

Escala 1:100



Planta Localização de Inspeções
e Ensaios na Estrutura do Telhado

Escala
1:100

A.9. Quadros, Diagramas

Espécies Resinosas

	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	
Propriedades resistentes em N/mm ² (MPa)													
Flexão	$f_{m,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Tracção	$f_{t,0,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Tracção	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Compressão	$f_{c,90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
Corte	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Propriedades de rigidez em KN/mm ² (GPa)													
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
Módulo E	$E_{90, mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
Módulo de distorção	G	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Massa volúmica em Kg/m ³													
Característica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Média	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

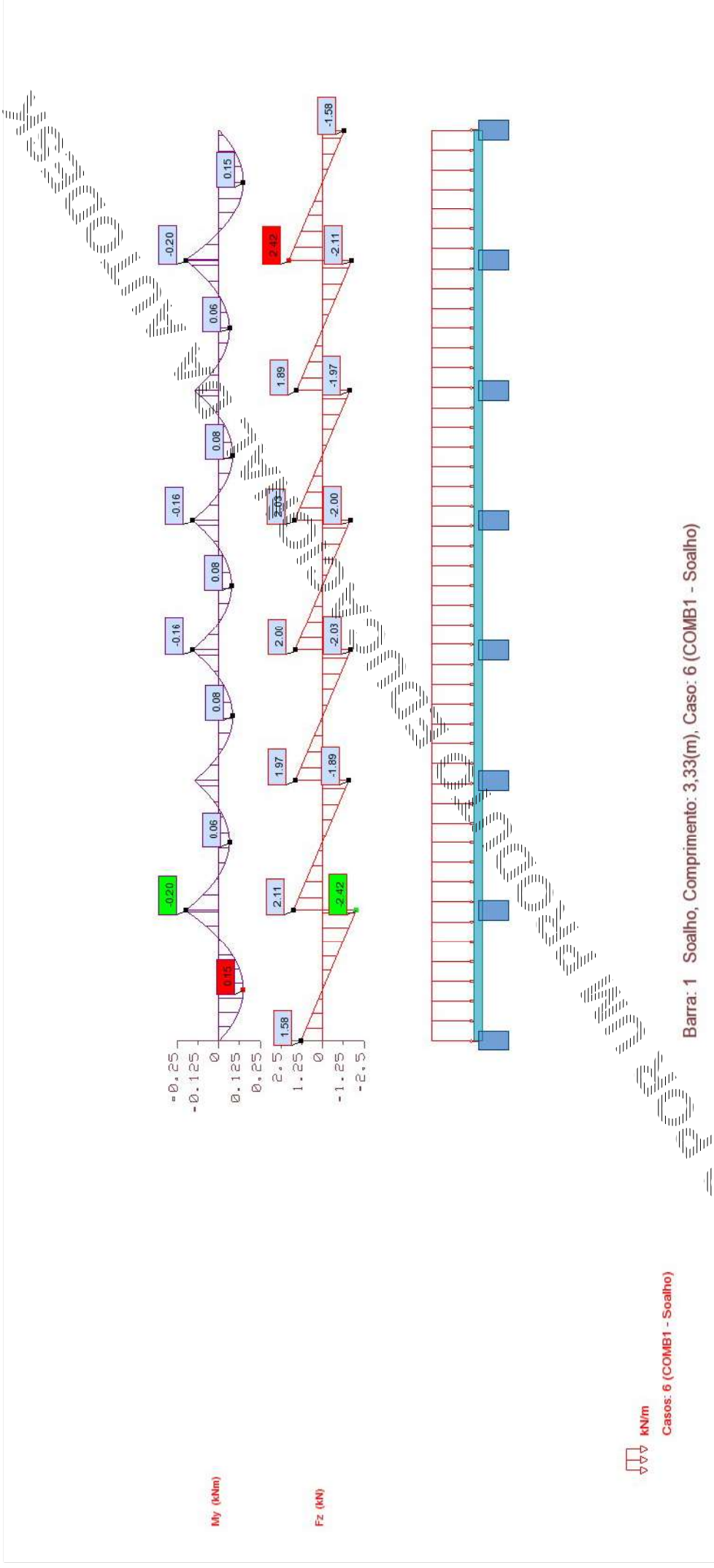
Quadro 3.4 - Propriedades físicas e mecânicas de madeira para estruturas (folhosas)

Espécies Folhosas

	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propriedades resistentes em N/mm ² (MPa)							
Flexão	$f_{m,k}$	30	35	40	50	60	70
Tracção	$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
Tracção	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compressão	$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
Compressão	$f_{c,90,k}$	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Corte	$f_{v,k}$	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Propriedades de rigidez em KN/mm ² (GPa)							
Módulo de Elasticidade	$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
Módulo de Elasticidade (5º percentil)	$E_{0,05}$	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Módulo E	$E_{90, mean}$	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Módulo de distorção	G	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Massa volúmica em Kg/m ³							
Característica	ρ_k	530	560	590	650	700	900
Média	ρ_{mean}	640	670	700	780	840	1080

EN338, adaptado de Negrão e Faria (2009)

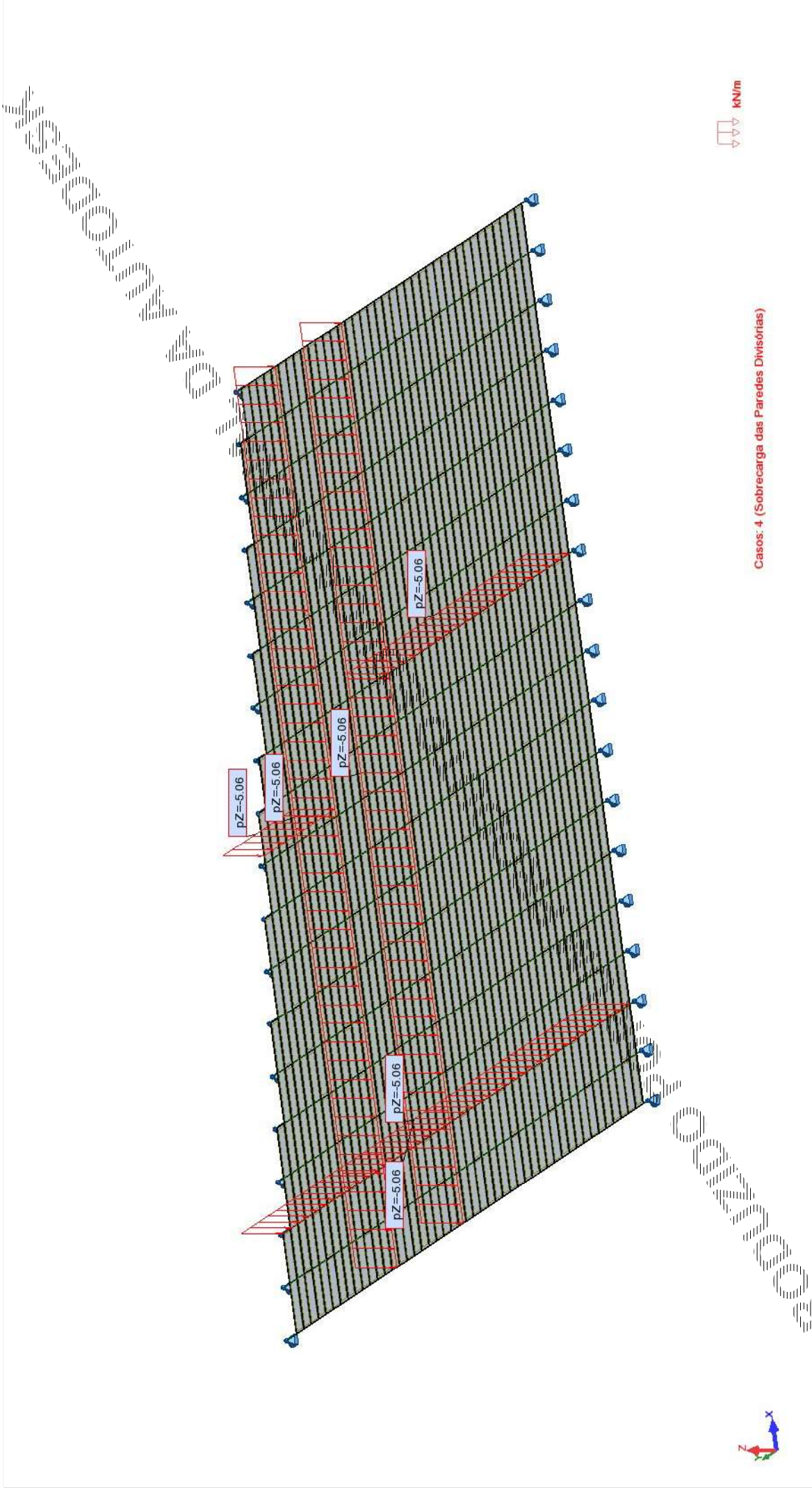
A.10. Estrutura



 1 kN/m
 Casos: 6 (COMB1 - Soalho)

Barra: 1 Soalho, Comprimento: 3,33(m), Caso: 6 (COMB1 - Soalho)

	FZ (kN)	MY (kNm)
MÁX para barra 1	2,42	0,00
no ponto:	x=2,85 (m)	x=3,33 (m)
MÍN para barra 1	-2,42	-0,20
no ponto:	x=0,47 (m)	x=0,47 (m)



Casos: 4 (Sobrecarga das Paredes Divisórias)